

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Механіко-машинобудівний інститут
(повна назва інституту/факультету)
Кафедра технології машинобудування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 131. Прикладна механіка _____
(код і назва спеціальності)

на тему: Забезпечення технологічності складальних виробів шляхом аналізу
особливостей їх конструкцій. _____

Виконав: студент __6__ курсу, групи _МТЗ-81(мп)_____
(шифр групи)

Денисенко Богдан Анатолійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доц., к.т.н. Лашина Юлія Вікторівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 20__ року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить: 78 сторінок, 28 рисунків, 22 таблиці, 27 літературних джерел.

Актуальність роботи. Сучасне машинобудування функціонує в умовах скорочених життєвих циклів продукції, великої варіативності замовлень та жорстокої конкуренції, тому підвищення ефективності виробництва в цілому та процесів складання зокрема є актуальним на даний момент. Сьогодні, одним з найбільш ефективних інструментів скорочення затрат, пов'язаних із складальним виробництвом, є використання методів підвищення технологічності виробу на основі аналізу його конструкції.

Мета магістерської дисертації – забезпечення технологічності складального виробу шляхом аналізу особливостей його конструкції.

Задачі дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан проблеми оцінювання конструкції виробів з точки зору технологічних процесів складання
2. Виконати порівняльний аналіз методів оцінки та підвищення технологічності складальних виробів. Обґрунтувати вибір методу та оцінити необхідність його вдосконалення.
3. Формалізувати методику підвищення технологічності з'єднань деталей складальних виробів.
4. Виконати практичну перевірку отриманих результатів на прикладі складального виробу
5. Розробити старт-ап проект

Об'єкт дослідження – технологічні процеси складального виробництва.

Предмет дослідження – конструктивні особливості виробів, які впливають на складність технологічних процесів складання.

Наукова новизна одержаних результатів: формалізовано методику підвищення технологічності з'єднань деталей з точки зору процесів складання.

Практичне значення. Результати роботи можуть бути використані на виробництві, для навчального процесу, а також для створення систем автоматизованого проектування процесів складання.

Апробація. Результати роботи доповідались на XV Міжнародній науково-практичній конференції, Achievement of high school - 2019, 15 - 22 листопада 2019 р., м. Софія, Республіка Болгарія

Публікації. За темою дисертації опублікована стаття:

Лашина Ю. В. Одночасне проектування конструкцій виробів і технологічних процесів їх виготовлення / Ю. В. Лашина, А. А. Антипова, Б. А. Денисенко. // Матеріали за XV міжнародна научна практична конференція, Achievement of high school - 2019 , 15 - 22 November 2019 г.: Софія.« Бял ГРАД-БГ ». – 2019. – №8. – С. 88–93.

Пропозиції щодо напрямку продовження досліджень. Подальші дослідження можуть бути виконані в напрямку розробки програмного забезпечення підтримки прийняття рішень при проектуванні з'єднань.

Ключові слова: складання, складальний виріб, одночасне проектування, паралельне проектування, система підтримки прийняття рішень, технологічність, Design for Assembly, Design for Manufacturing.

ABSTRACT

The master's thesis contains: 78 pages, 28 drawings, 22 tables, 27 literary sources.

Relevance of work. Modern mechanical engineering operates in the conditions of short life cycles of production, large variability of orders and fierce competition, therefore increase of efficiency of production as a whole and processes of assembly in particular is actual at the moment. Today, one of the most effective cost-cutting tools associated with assembly manufacturing is the use of methods to increase the manufacturability of a product by analyzing its design.

The purpose of the master's thesis is to increase the manufacturability of the assembly product on the basis of a formalized analysis of its design.

Research objectives:

1. To analyze the current state of the problem of evaluating the design of products in terms of technological processes of assembly
2. Perform a comparative analysis of methods of evaluation and increase the manufacturability of assembly products. Justify the choice of method and evaluate the need for its improvement.
3. Formalize the method of increasing the manufacturability of joints of parts of assembly products.
4. Perform practical verification of the results obtained on the example of the assembly product
5. Develop a start-up project

Object of research - technological processes of assembly production.

The subject of the study - the design features of products that affect the complexity of technological processes of assembly.

Scientific novelty of the obtained results: the technique of increasing the manufacturability of the joints of parts in terms of assembly processes has been formalized.

Practical meaning. The results of the work can be used in production, for the educational process, as well as to create systems for automated design of assembly processes.

Approbation. The results of the work were reported at the XV International Scientific and Practical Conference, Achievement of high school - 2019, November 15 - 22, 2019, Sofia, Bulgaria.

Publications. The topic of the dissertation is published article:
Lashina, Yu. V. Simultaneous design of product structures and technological processes for their manufacture / Yu. V. Lashina, AA Antipova, BA Denisenko. // Proceedings of the 15th International Scientific Practical Conference, Achievement of high school - 2019, November 15 - 22, 2019: Sofia, White City-BG. - 2019. - №8. - P. 88–93.

Suggestions for the direction of continuation of research. Further research can be undertaken towards developing decision support software in connection design.

Keywords: assembly, assembly product, concurrent design, parallel design, decision support system, manufacturability, Design for Assembly, Design for Manufacturing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	10
ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБІВ З ТОЧКИ ЗОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ - СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ	10
1.1 Життєвий цикл виробу та принципи одночасного проектування	10
1.2 Поняття технологічності виробу	14
1.3. Автоматизація аналізу технологічності	19
РОЗДІЛ 2	24
Аналіз методів оцінки та підвищення технологічності складальних виробів	24
2.1 Методика оцінювання технологічності виробу	24
2.2 Якісна та кількісна оцінка технологічності	25
2.3 Оцінка технологічності за допомогою DFA індексу	36
2.4. Висновки по розділу	38
РОЗДІЛ 3	40
Формалізація методики підвищення технологічності з'єднань деталей складальних виробів	40
3.1 Класифікація з'єднань	40
3.2 Формалізація представлення з'єднань з метою оцінки технологічності ...	45
3.3 Оцінка трудомісткості реалізації з'єднання	47
3.4 Спрощення конструкцій шляхом заміни з'єднань	49
3.5. Висновок до розділу	53
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ	54
4.1. Підвищення технологічності складального виробу	54
4.2. Висновки по розділу	60
РОЗДІЛ 5.	61
РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	61
5.1 Розробка стартап-проекту	61
5.2 Опис ідеї проекту.	61
5.3 Технологічний аудит ідеї проекту	62
5.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	63
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

ВСТУП

Відпрацювання конструкції на технологічність є однією з основних задач технологічної підготовки виробництва на сучасному етапі розвитку машинобудування. Що таке технологічність конструкції виробів (ТКВ) - це сукупність властивостей конструкції виробів, засобів, виготовленні, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва, які проявляються у можливості оптимальних витрат праці, експлуатації та ремонту виробу.

Технологічність конструкції характеризує можливість його експлуатації та зберігання, виготовлення, при наявних у виробника і споживача виробу матеріальних, енергетичних, трудових, та інших ресурсів. Будь-який виріб може бути технологічно раціональним для заданих конкретних умов підготовка його виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту. Ці вимоги слід знати конструктору до початку розробки конструкції виробу.

Рівень автоматизації технологічної підготовки складального виробництва на сучасному виробництві, сильно відстає від усіх інших систем автоматизації. У підвищенні продуктивності складання виробів важливим фактором є те, що, на відміну від операцій механічної обробки, в складанні допоміжне час переважає над основним час операції. Велика кількість часу витрачається на виготовлення пристосуванні, базування, логістику, і закріплення деталей перед складанням, а після цього процес складання, виконується дуже швидко (наприклад: вставка, пресування, заклепування, закручування, зварювання, зпаювання). Також багато часу витрачається на допоміжні операції, тестування, регулювання, контроль після складання та інші допоміжні операції. Все це збільшує витрати, собівартість виробу, і час виробництва.

Метою даної роботи є забезпечення технологічності складального виробу шляхом аналізу особливостей його конструкції. Результати роботи можуть бути використані на виробництві, для навчального процесу а також для створення систем автоматизованого проектування процесів складання.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБІВ З ТОЧКИ ЗОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ - СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Життєвий цикл виробу та принципи одночасного проектування

Життєвий цикл виробу складається з декількох стадій, що виділяються за ознаками, характерним для процесів (робіт), явищ і остаточних результатів. Основні стадії життєвого циклу: дослідження проблеми, проектування, конструювання, створення дослідних зразків виробів, виробництво, логістика, споживання (застосування, експлуатація), утилізація.

Цикл виготовлення продукції підприємством пов'язаний з життєвим циклом технологічної системи (життєвими циклами технологічного обладнання). Процеси цих життєвих циклів взаємодіють між собою і становлять єдиний життєвий цикл продукції та технології (рис. 1.1) [1].

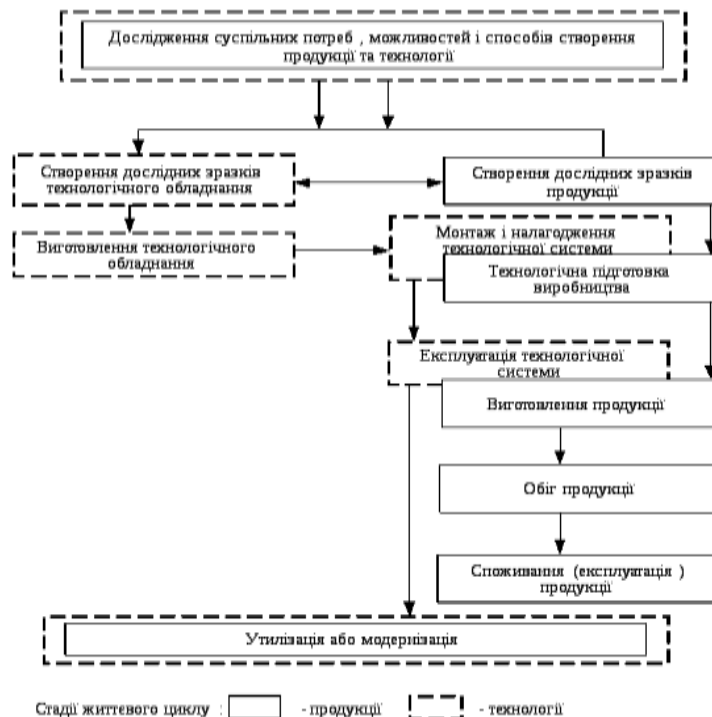


Рис.1.1. Життєвий цикл продукції / технології [1]

Продукція та технологія взаємопов'язані і характеризується життєвим циклом технології та попиту. У цьому циклі відбувається зміна попиту на продукцію, виготовлену за даною технологією, і залежить це від часу.

Наприклад, розглянемо з чого складається типовий склад процесів життєвого циклу технології або продукції (в дужках вказані організації, які зазвичай здійснюють ці процеси).

Дослідження дозволяє: вивчити потреби і можливі способи їх задоволення; визначити параметри якості продукції, необхідного для задоволення потреб; попит; шлях створення продукції а також технологію її виготовлення (маркетингові, науково-дослідні, дослідно-конструкторські та проектно-технологічні підрозділи). Результат цієї стадії - розробка плану створення продукції і технологічної системи, зовнішнього вигляду (ескізного проекту), а також техніко-економічних вимог і параметрів. Рішення дуже часто мають альтернативний характер, і вибір варіантів здійснюється за допомогою системного аналізу (рис. 1.2) [1].

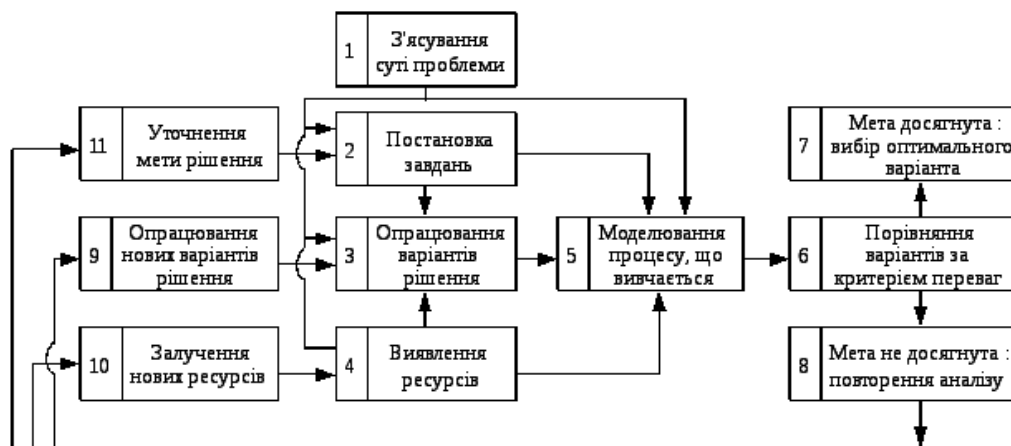


Рис.1.2. Схема системного аналізу проблеми [1]

При розробці проектів по створенню складних видів продукції реалізують принципи нинішнього науково-технічного розвитку, які засновані на властивостях складних систем. Дослідження які проводяться, визначаються

типом реакції компанії на зміни зовнішнього середовища. Вона повинна бути конкурентною та інноваційною.

При створенні продукції, характерної для індустріальної епохи (задоволення потреб, які існують), дослідження ведеться за схемою:

«потреби → продукція → технологія» (пряма задача розвитку).

В умовах постіндустріальної епохи (створення нових потреб) – за схемою:

«технологічний прорив → продукція → нова потреба» (зворотне завдання розвитку).

Дослідні зразки продукції і технологічного обладнання (технологічної системи) створюються паралельно, так як на цій стадії проектні рішення схвалені і тісно взаємопов'язані. При орієнтації нової продукції на традиційну технологію розробники прагнуть забезпечити технологічне успадкування нової і заміної продукції. Це дозволяє полегшити модернізацію технологічної системи. Розробка нового продукту ведеться з деяким випередженням розробки або модернізації устаткування для виробництва (конкурентна або інноваційна реакції, пряма задача розвитку). Для розроблення нової продукції, яка визначається технологічним проривом, використовуються сучасні технологічні процеси (зворотне завдання розвитку, підприємницька реакція).

Для даної стадії характерні наступні етапи:

- розробка проектної і робочої конструкторської документації дослідного зразка і дослідної технології (проектно-конструкторські і проектно-технологічні підрозділи);
- виготовлення дослідної партії або зразка продукції з одночасним відпрацюванням нових сучасних технологічних процесів (проектно-технологічні підрозділи і проектно-конструкторські, дослідне виробництво);
- випробування дослідних технологічних процесів і доводка дослідних зразків продукції, та технологічного устаткування (дослідне виробництво,

проектно-конструкторські і проектно-технологічні підрозділи, випробувальні);

- на промислове виготовлення продукції і технологічної системи розробляється робоча документація (це проектно-технологічні підрозділи серійних і дослідних підприємств); виготовлення технологічного обладнання (формування технологічної системи) передуює стадії виготовлення продукції по новим технологіям; включає стадію технічної підготовки виробництва технологічного машинобудування (монтажні і проектно-технологічні підрозділи);
- виготовлення дослідної торгової серії для вивчення попиту (основне, допоміжне і обслуговуючі виробництва, маркетингові підрозділи);
- виробництво виробів і запасних частин до них (основне, допоміжне і обслуговуючі виробництва);
- підготовку продукції до зберігання на складах і транспортування (пакування і консервації, склад готової продукції) [1].

Після стадії виготовлення устаткування настає *передвиробнича стадія* технологічної підготовки виробництва. Ця стадія поєднується із стадією *налагодження технологічної системи і монтажу* (підрозділи головного механіка, проектно-конструкторські і монтажні підрозділи виробників технологічного обладнання, проектно-технологічні та проектно-конструкторські підрозділи виробників продукту).

Стадія обігу продукції включає її збут (маркетингові підрозділи) і зберігання (складські підрозділи). Якщо продукцією є технологічне устаткування виготовлене за спецзамовленням, то дана стадія трансформується в стадію налагодження технологічної системи і монтажу.

Стадія споживання складається з наступних етапів:

- використання та експлуатація продукції за призначенням;

- якість продукції яка підтримується профілактичним обслуговуванням та ремонтами (сервісного обслуговування і підрозділи гарантійного ремонту);
- модернізація продукції у споживача (маркетингові, проектно-конструкторські і виробничі підрозділи). Якщо продукцією є технологічне устаткування, то ця стадія трансформується в процеси сервісного обслуговування.

Утилізація продукції технологічного устаткування, здійснюється перевезення залишків (відходів) продукції до місць їх складування і переробки на вторинну сировину, знищення або поховання.

Процеси життєвого циклу продукції у системах управління є об'єктом управління якістю продукції. Головна мета – це забезпечення постійної відповідності якості продукції потребам замовників і експорту. Величина задоволення потреби на одиницю витрат споживача є головним критерієм управління. Всі сукупності цих цілей забезпечує досягнення найголовнішої мети управління [1].

1.2 Поняття технологічності виробу

Під технологічністю [5] розуміють сукупність властивостей конструкції виробу, що виявляються у можливостях досягнення оптимальних витрат коштів, праці, часу та матеріалів при технологічному підготовленні виробництва, виготовленні, експлуатації, і ремонті порівняно з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів такого ж призначення, яке забезпечує встановлені значення показників якості та умов виготовлення, експлуатації, ремонту, які приймаються. До умов виготовлення та ремонту виробу відносяться: тип, спеціалізація та організація виробництва, повторюваність випуску та річна програма, а також технологічні процеси, які застосовуються [2].

Основні поняття відпрацювання деталей та складальних виробів на технологічність були закладені в наукових працях А.П. Гавриша, Н.М. Капустіна, В.С. Корсакова, М.П. Новікова, Л.С. Ямпольського.

Показники кількісної оцінки технологічності та методи їх розрахунку розроблені в роботах Амірова Ю.Д., Яновського Г.А., Павлова В.В., Ніколаєнко А.И..

Питання впливу особливостей конструкції виробу на технологічні процеси його складання досліджені в роботах: В.К. Замятіна, А.С. Зенкіна, В.А. Пасічника, С.В. Лапковського, М.Е. Попова, А. М. Попова, А.Г. Холодкової, Ю.В. Лашиної.

В залежності від виду, технологічність конструкції поділяється на: виробничу, експлуатаційну, ремонтну технологічність та технологічність при технічному обслуговуванні. За місцем прояву: технологічність конструкції деталі та складальної одиниці, а також технологічність конструкції по формі поверхні, за процесом виготовлення, матеріалами та розмірами.



Рис.1.3. Забезпечення технологічності конструкції виробу [6]

Виробнича технологічність конструкції проявляється в зменшенні витрат ресурсів та часу на технологічну та конструкторську підготовку виробництва та процесу виготовлення. Експлуатаційна технологічність проявляється в зменшенні затрат ресурсів та часу на технічне обслуговування та ремонтування виробу. Обсяг випуску, та тип виробництва вважаються головними факторами, які визначаються вимогами до технологічності конструкції виробів. Технолог повинен брати участь на всіх етапах проектування виробу, таким чином він може швидко отримувати розрахунки для технологічної підготовки виробництва [2].

Якщо конструкція стає об'єктом виробництва, то при відпрацюванні конструкції на технологічність враховуються:

- Види заготовок та їх методи отримання;
- Методи та види обробки;
- Методи та види складання;
- Методи та види випробування, контролю;
- Можливість використати технологічні процеси по типу;
- Можливість автоматизації та механізації процесу виготовлення і технологічної підготовки виробництва;
- Умови матеріального забезпечення виробництва;
- Необхідна кваліфікація робітничих кадрів.

Коли розглядають конструкцію як об'єкт експлуатації то перед цим аналізують пристосованість (зручність) виробів до використання, ремонту, відновлення, забезпеченню вимог техніки безпеки та його транспортування.

Ступінь точності виготовлення це один з основних факторів, які будуть впливати на конфігурацію виробу. Коли конструюють то перш за все проводять дуже ретельний аналіз та розраховують точність механізму та вузла, встановлюють, яким методом можливо отримувати точність, яка задана у виробництві. Можливо буде вибір, яку конструкцію вважати більш

технологічною: ту, яка буде складатись з простих деталей з меншими допусками чи конструкцію з більш складною конфігурацією деталей, але з більшими допусками.

Таким чином питання про оцінювання технологічності конструкції є дуже складним. Технологічність - це є відносне поняття, так як ступінь технологічності нового виробу визначається або порівнянням з конструкцією, що вже запущена у виробництво, або порівнянням деяких інших варіантів всіх нових конструкцій.

Крім того, розвиток нових методів виробництва буде вносити відповідні зміни до критеріїв технологічності конструкції. Найбільш вичерпне оцінювання деяких інших варіантів конструкції щодо технологічності можливо дати тільки тоді при зіставленні відповідних технологічних процесів. Але до цього методу вдаються тільки щодо деяких складних трудомістких вузлів та деталей [2].

Поняття забезпечення технологічності конструкції виробів повинно охоплювати всю підготовку виробництва, яке буде передбачати взаємозалежні рішення конструкторського та технологічного завдання, яке спрямоване щоб підвищити продуктивність праці, досягти оптимальних матеріальних та трудових витрат на зменшення часу для виробництва, на технічне обслуговування та ремонтування виробів.

Відомість за рівнем технологічності конструкцій використовують в процесі оптимізації конструкторського рішення на етапі розроблення конструкторських документацій, коли приймають рішення про виробництво виробів, аналізу технологічних підготовлень виробництв, розроблення заходів для підвищення рівнів технологічності конструкції виробів та ефективності його у виробництві і експлуатації.

Щоб забезпечити технологічність конструкції виробів разом з відпрацюванням окремої конструкції повинно включати кількісну оцінку. Ці показники розраховуються за допомогою вихідних (базових) даних. Число основних показників, яке характеризує технологічність конструкції виробу,

можна відносити трудомісткість виготовлення виробів, технологічну собівартість, його питому матеріаломісткість, вартість і тривалість технічного обслуговування, трудомісткість, ступінь уніфікації конструкцій.

Точність кількісного оцінювання технологічності конструкції виробу, а також перелічення показників та методи його визначення встановлені в залежності від виду виробу та ступенів відпрацювання його конструкцій і типу виробництв.

Виконання відпрацювання конструкції виробів на технологічність слід вважати, яку роль велику має вигляд виробу, ступеня його складності та новинки, умови технічного обслуговування, виготовлення та ремонтування, перспективи, а також його обсяг випуску [3].

При відпрацюванні конструкції виробів на технологічність потрібно забезпечити вирішення таких основних завдань:

- коли виготовляють виріб – знизити трудомісткість та собівартість;
- знизити трудомісткість та вартість технічного обслуговування виробів;
- знизити складові загальної ресурсоемності виробів - витрати матеріалів та паливно-енергетичного ресурсу
- врахувати монтаж поза підприємством-виробника та ремонт виробу.

Роботи для зниження трудомісткості та собівартості виготовлення виробів та його монтажу супроводжується підвищенням серійності виробу за допомогою стандартизації і уніфікації. Забезпечення оптимальних рівнів механізації та автоматизації виробничих процесів дозволить обмежувати номенклатуру складових частин конструктивних елементів та використаного матеріалу. Використання стандартного засобу технологічної оснастки дає можливість застосовувати високопродуктивні та маловідходні технологічні рішення.

Комплекс заходів по зменшенню матеріаломісткості виробів у свою чергу включає:

- застосування раціонального сортаменту та марки матеріалу, раціонального способу отримання заготовки, методу та режиму зміцнення деталі;
- розроблення та застосування прогресивного конструктивного рішення, яке дозволяє підвищення ресурсу виробів та використати маловідходні та безвідходні технологічні процеси;
- розроблення раціональної компоновки виробів, що забезпечить зменшення витрат на матеріал.

1.3. Автоматизація аналізу технологічності

Методи одночасного проектування, зорієнтовані на зниження витрат на формоутворення коли виготовляються деталі отримали назву «Конструювання, орієнтоване на виготовлення» (англ. – *Design for Manufacturing*).

Метод паралельного проектування, який направлений на зниження витрат на складання продукції за рахунок проектування конструкцій, спочатку орієнтованих на складальні процеси, отримав назву «Конструювання, орієнтоване на складання» (*DFA – Design for Assembly*). Цей метод об'єднує в собі як набір визначених правил та рекомендацій по проектуванню конструкції нових виробів так і процедури аналізу відповідних виробів з ціллю їх перепроєктування.

Проведені досліді свідчать про те, що машинобудівна продукція містить в середньому 50% «зайвих» деталей, тобто деталей, які можна виключити шляхом перепроєктування, а тому і процеси складання таких виробів оказується значно дорожче, як це необхідно. Дана ситуація може бути пояснена тим, що на сьогоднішній день DFA аналіз конструкції практично не автоматизований.

Найбільш відомим рішенням з приводу автоматизації аналізу технологічності конструкції виробу являється програмний засіб *DFM Pro*[®], інтегрований з CAD. *DFM Pro*[®] дозволяє провести ідентифікацію

нетехнологічних елементів конструкції, які в майбутньому викличуть труднощі на виробництві або буде бракована конструкція. Ця система передбачає та допоможе уникнути проблем на ранніх етапах проектування конструкції для таких технологічних процесів: лиття в піщані форми, лиття під тиском, оброблення різанням, оброблення листового матеріалу та складання.

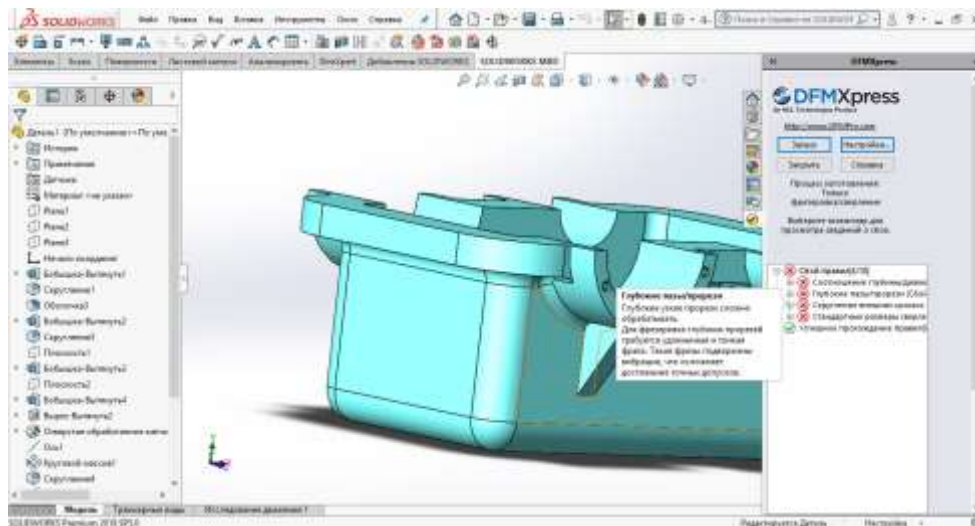


Рис. 1.4 Оцінка технологічності виробу в середовищі: DFM Express (SOLIDWORKS)

Перевага системи це автоматизація аналізу, що виконується на основі 3д моделі виробу. Недоліком є дуже обмежений інструментарій в частині аналізу конструкції, який зі сторони складання, включає лиш: аналіз елементів кріплення (доступ інструменту в зону складання, зазори та довжина зачеплення, вирівнювання отворів) та перевіряє інтерференцію між деталями та підскладанням.

DFA Product Simplification (DFMA[®] Software) – це програмний продукт, який спеціально розробили для експертної підтримки проектування виробу, які технологічні зі сторони складання. Програма включає в собі інструментарій для аналізу конструкції зі сторони: можливість скоротити кількість деталей, замінивши з'єднання та підвищити технологічність деяких деталей при

складанні (Рис.1.5). Вартість технологічного процесу складання буде оцінюватись на основі геометричних характеристик деталей, типу з'єднання та особливості виконання складальних операцій.



Рис.1.5. Оцінка технологічності виробу в середовищі: DFA Product Simplification

DFM Concurrent Costing (DFMA[®] Software) – це інструмент, що дозволить оцінювати витрати, які пов'язують виробу з виготовленням на ранніх стадіях коли його проектують. Програма дозволить виконати порівняння альтернативних процесів та матеріалів, а також відслідкувати вплив конструкторських змін на собівартість деталі.

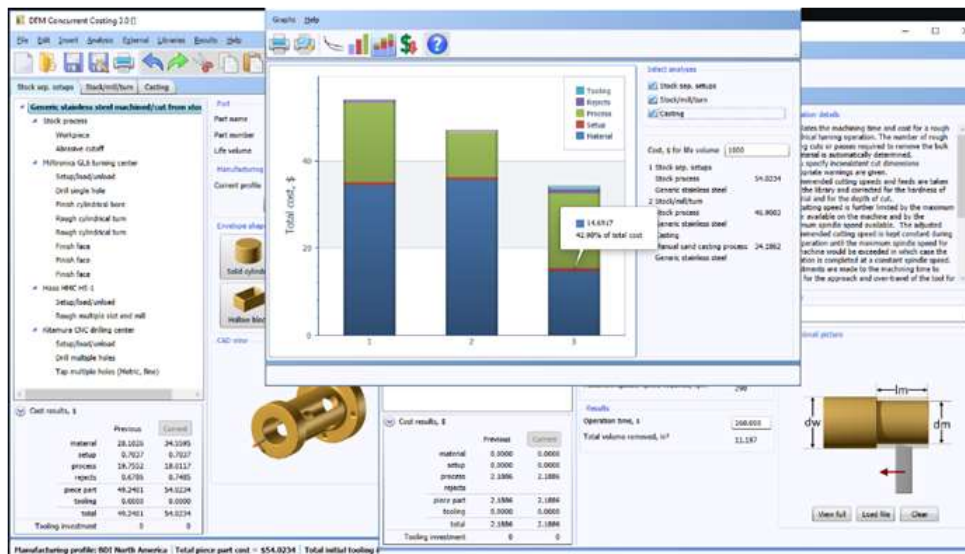


Рис. 1.6. Інтерфейс DFM Concurrent Costing (DFMA[®] Software)

DFA Product Simplification та DFM Concurrent Costing створюють комплекс програми DFMA[®] Software, що є досить потужним інструментом для порівнювання та вибір конструкторсько-технологічного рішення на підставі економічного оцінювання технологічних процесів виготовлення та складання. Головний недолік програми це є трудомісткість вводу початкових даних, поки що це потрібно вводити вручну.

1.4 Висновок за розділом, мета і задачі дослідження

Забезпечення технологічності виробу є одним із головних етапів при одночасному проектуванні його конструкції та етапів життєвого циклу. Ступінь відповідності конструкції вимогам процесів отримала назву «технологічність» і може оцінюватись кількісно та якісно. Огляд сучасних систем для аналізу технологічності складальних виробів показав низький рівень автоматизації процесу: майже всі початкові дані вводяться вручну. Незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених оцінці технологічності, питання методики

формалізованого аналізу конструкції, зокрема з'єднань деталей, залишається в стадії становлення і потребує розвитку.

Метою роботи є забезпечення технологічності складального виробу шляхом аналізу особливостей його конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі.

1. Виконати порівняльний аналіз методів оцінки та підвищення технологічності складальних виробів.
2. Обґрунтувати вибір методу та оцінити необхідність його вдосконалення.
3. Формалізувати методику підвищення технологічності з'єднань деталей складальних виробів.
4. Виконати практичну перевірку отриманих результатів на прикладі складального виробу.
5. Розробити старт-ап проект.

РОЗДІЛ 2

Аналіз методів оцінки та підвищення технологічності складальних виробів

2.1 Методика оцінювання технологічності виробу

Ціль забезпечення технологічності конструкції виробів полягає у наданні конструкціям виробів такого комплексу властивостей, за яких можна досягти найкращих значень витрат для всіх видів ресурсів на виробництві, експлуатації та ремонті виробів для потрібних показників якості, умов виконання робіт та об'єму випуску продукції.

Функція цілі керування процесами розроблення виробів за заданими показниками технологічності конструкції виробів повинна забезпечити можливості екстремального управління.

$$Y(Q, Q_0) \rightarrow \text{extr}, Q \in S$$

де Q, Q_0 – значення відповідно досягнутого на даному етапі розроблення та базового показника технологічності конструкції виробів.

S – область допустимої зміни показника технологічності конструкції виробів.

Забезпечення технологічності конструкцій виробів полягає в такому впливі на множину параметрів конструкції $X = (x_1, \dots, x_m)$, який призводить до досягнення екстремальної цілі при виконанні сформованих обмежень виду $g_i(x) = 0$ та $h_j(x) \geq 0$:

$$Q(X) \rightarrow \text{extr}, X \in S$$

$$S: \begin{cases} g_i(X) = 0, & i=1, I \\ h_j(X) \geq 0, & j=1, J \end{cases}$$

де функції Q, g та h визначаються виходячи з конструктивних особливостей виробів, а також різноманітних, виробничих, експлуатаційних та

ремонтних факторів, які впливають на значення показників технологічності конструкцій виробів.

Обмеження визначаються за рахунок прийнятих на підприємстві граничних норм та вимог до числових характеристик технологічності конструкції виробів, встановлених в стандартах та інших документах [6].

Оцінка технологічності конструкції може бути двох видів: кількісна та якісна.

2.2 Якісна та кількісна оцінка технологічності

Якісна оцінка технологічності.

Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено на підставі досвіду виконавця. Якісна порівнювальна оцінка варіанту конструкції допустима на всіх етапах проектування, коли здійснюється вибір найкращих конструктивних рішень і не вимагається визначення ступеня відмінності порівнювальних варіантів. При порівнянні варіантів конструкцій в процесі проектування виробів якісна оцінка передусє кількісній та визначає її доцільність [3].

В момент якісного оцінювання вказуються переваги та недоліки конструкції з урахуванням форм, габаритів, матеріалів деталей та складальних одиниць; способів з'єднання деталей з їх взаємним розташуванням; конструкцій роз'ємних вузлів; наявності конструктивних компенсаторів; методом отримання заготовок деталей. Після якісної оцінки слід зробити висновок щодо ступеня технологічності конструкції, наприклад; «Можна вважати конструкцію технологічною (обмежено технологічною, або не технологічною)» [9].

Оцінювання технологічності конструкції є об'єктивним, якщо проводиться по показником, що розподілені на основні та додаткові (техніко-економічні, технічні). До основних показників можна відносити трудомісткість виготовлення конструкції машини та технологічну собівартість, що визначена

сумою затрат за час виконання технологічного процесу виготовлення, що не врахує вартість комплектації виробу.

В технологічній собівартості складовими являються вартість матеріалів, затрати на електроенергію, заробітна плата працівників з надбавками, амортизація та ремонтування обладнання, технічне обслуговування інструментів та різних пристроїв, а також вартість змащувальних, охолоджувальних і обтиральних матеріалів.

Трудомісткість виготовлення виробів складається з трудомісткості виготовлення кожної деталі, складання і випробування складальних одиниць, а також готових виробів.

Показники техніко-економічні визначаються відносною та питомою трудомісткістю та собівартістю.

Показники технічні охарактеризовані коефіцієнтами уніфікації, стандартизації, використаних матеріалів, застосовування типових технологічних процесів, шорсткості і точності та інших.

Рівень технологічного розроблення визначається з трудомісткості виготовлення, а також відношеннями досягнутої трудомісткості виготовлення виробів до базових показників, а собівартість – аналоговими відношеннями технологічної собівартості до базових показників.

Технологічність конструкції оцінена шляхами порівнянь двох та більшістю варіантів конструкції до та після її відпрацювання на технологічність.

Вартість виготовлення виробів повністю охарактеризовує технологічність. Складання виробів та оброблення різанням дозволить охарактеризувати не тільки трудомісткість, але й інші показники оцінювання технологічності конструкцій.

Маса виробів. На стадії конструювання розробник хоче завжди досягти мінімальної маси виробів ціллю правильного розрахунку, підбиранням конструктивних форм деталей, які потім забезпечать можливість отримати

заготовки з мінімальним припуском на обробку, та застосуванням сучасного матеріалу.

Розрахунок встановлює дійсні напруження у деталях, це дасть додаткову можливість конструкторам встановити форму деталі та розмірів, та отримувати їхню масу без підвищення запасу міцності. Якщо мінімальна маса виробів, то трудомісткість їх виготовлення буде мінімальною.

За показниками технологічності конструкція характеризується виробничо-технологічними, експлуатаційними факторами.

На практика видно, що коли пересувають велику масу виробу, то потрібні дуже великі витрати енергії. Відношення маси M до його потужності N є важливим показником матеріаломісткості виробів.

Використовувані матеріали. Оцінювання технологічності конструкцій також проводиться за допомогою коефіцієнту використання матеріалу.

Коли використовується мінімальна кількість різних марок сталі, чавуну та іншого матеріалу то конструкція виробу буде відрізнятися високою технологічністю.

При збільшенні кількості заготовок ускладнюється процес виробництва і оброблення різанням та процесів виробництва в цілому. Щоб виготовити заготовки потрібна велика кількість нагрівальних агрегатів, а також потрібно забезпечити відповідні температурні режими. Таким чином ускладнюється обробка різанням, це вимагає застосовувати різні різальні сучасні інструменти. Багато різновидів конструкційних матеріалів, збільшать їх запаси на підприємствах, при цьому буде складно їх зберігати.

Взаємозамінність деталей та складальних одиниць. Нинішні виробництва побудовані на взаємозамінності складальних деталей та одиниць.

При відсутності поточного виробництва суттєво підвищиться трудомісткість виготовлення. Складання буде проводитись за методами підгонки, воно завадить нормальній роботі конвеєра, ускладнить процеси замінювання зношених деталей при ремонтуванні виробів.

В машинобудуванні застосували різні методи для досягнення потрібної точності. Одним з найбільш поширених методів, є метод повної взаємозамінності. Також застосовується складання з неповною взаємозамінністю. Окремі деталі, спряжені з великою точністю (2-3 мкм), складають за допомогою методу групової взаємозамінності.

Деякі деталі що масово будуть виготовлені з великою точністю, можуть викликати деякі труднощі, їх виготовлення буде здійснюватись з розширеними виробничими допусками і послідовним сортуванням на групи потім використають «селективне складання». Коли при виготовленні буде забезпечений принцип незалежної обробки деталей, то складання деяких складальних одиниць, технологічність виробу буде суттєво підвищений.

Кількісна оцінка технологічності.

Кількісна оцінка технологічності конструкції виробів виражена показниками, чисельне значення яких характеризується ступенем задоволення вимоги до технологічності конструкції. Кількісна оцінка раціональна лише в залежності від ознаки, яка суттєво вплине на технологічність конструкції, яка розглядається. База кількісної оцінки визначається відношенням значення досягнутого показника до базового. При цьому за базові приймають показники різних машин, що являються кращими в світі представниками таких видів продукції.

Цілі кількісної оцінки технологічності конструкції, яка розробляється для виробів – це забезпечити ефективне відпрацювання виробів на технологічність коли знижена витрата часу та засобу на її розроблення, технологічне підготування виробництва, виготовлення, експлуатацію та ремонтування.

Показник технологічності проекрованої конструкції визначається у такому випадку:

- для порівняльного оцінювання варіанту конструкцій в процесі проектування виробів;

- для визначень рівнів технологічності конструкцій виробів;
- для накопичень статистичних даних з приводу виробів-представників з метою наступних використань коли визначають базові показники в процесі розроблення виробу;
- для побудови математичної моделі з метою прогнозування технічний розвиток конструкції виробу.

Основним показником технологічності конструкцій виробів є: працеемність; матеріалоемність; собівартість; енергоемність.

Працеемність виготовлення (ремонткування) виробів виражається як сума нормо-годин, які витрачені на технологічні процеси виготовлення (ремонткування) всіх його складових частин та складання. Рівень технологічності конструкції за рахунок працеемності визначають за формулою

$$K_{п/з} = P_o / P_б$$

де P_o , $P_б$ – очікувана (проектна) та базова працеемність виготовлення (ремонткування) виробів відповідно, нормо-годин.

Собівартість – сумарне значення витрат на матеріали, заробітну плату виробничих працівників з надбавками та накладними витратами. Собівартість це є узагальнений показник якості виробів. Рівень технологічності конструкцій по собівартості:

$$K_{с/в} = C_o / C_б$$

де C_o та $C_б$ – очікувана (проектна) та базова собівартість виготовлення виробів, в грн.

Матеріалоемність характерна кількості матеріалу, який витрачений на виготовлення виробів одиниці маси. На практиці його часто будуть використовувати як матеріалоемність до відношення маси виробу та до одного з основних технічних його параметрів (наприклад, потужності).

Енергоемність характерна кількості паливно-енергетичних ресурсів, що витрачені на виготовлення виробів, наприклад, кВт, кал. Рівні технологічності

виробу за матеріалоемністю та енергоемністю визначені аналогічно до рівня технологічності з праце ємності та собівартості.

Розроблені конструкції будуть вважатись технологічними, якщо чисельні значення рівня технологічності менші за одиницю.

Існує ряд інших показників, які дають можливість конкретизувати так звані конструктивні недоліки та визначати шляхи підвищення технологічності. Їм належать рівні уніфікації деталі та їх конструктивних елементів, марки матеріалу, сортаменту матеріалу, розміри різьби, посадок та інше.

Уніфікація складальних одиниць та деталей. Підвищення технологічності конструкції може бути досягнуте при застосуванні великого числа уніфікованих складальних одиниць та деталей. Уніфікація узагальнює різні конструктивні рішення без оформлення спеціальних документів, нормалізація – у вигляді внутрішньозаводських та відомчих нормалей, а стандартизація – державних стандартів.

Уніфікація складальних одиниць та деталей дозволить скоротити обсяг робіт коли проектується завдання, коли значно зменшена собівартість виготовлення та трудомісткість коли є можливість використати сучасне високопродуктивне обладнання, стандартизований інструмент. Але скоротиться номенклатура запасних частин. Замість зношених вузлів та деталей можливо встановити нові. За рахунок цього знизиться трудомісткість ремонту. Уніфікація складальних одиниць та деталей дозволить, знизити вартість зазначених виробів та забезпечити їх виготовлення, випустити більше можливих модифікацій. Збільшення числа уніфікованих конструктивних елементів значно підвищує технологічність конструкції.

Коефіцієнт уніфікації деталей, який характеризує технологічність конструкції, дорівнює

$$K_y = \frac{\sum n_y}{\sum N_i},$$

де $\sum N_i, \sum n_y$ - відповідно загальна кількість та число уніфікованих складальних одиниць, деталей або конструктивних елементів з'єднання.

Одним з найбільших технологічних варіантів вважається, той що характерний більшим коефіцієнтом уніфікації. В конструкціях виробів не може бути так щоб були уніфіковані всі деталі. Оригінальні деталі мають особливу конструктивну форму, що обумовлено їх призначенням. Тож технологічним буде виріб, який має мінімальний коефіцієнт уніфікації по конструктивних елементах деталей та їх з'єднання. Більш технологічною є та деталь, яка має менше оригінальних деталей [8].

Загальна номенклатура показника технологічності конструкції для кожного конкретного випадку вибирається в залежності від виду виробу, специфіки та складності конструкції, обсягу випуску, типу виробництва та стадії розроблення конструкторської документації. При порівнювальній оцінці варіанту конструкції номенклатура показника технологічності та метод їхнього визначення повинні співпадати.

Вибір базового показника технологічності конструкції, відносно якого визначають рівень технологічності та організовують весь процес відпрацювання конструкції виробів на всіх етапах їх розробки, являється вихідним етапом для відпрацювання конструкції виробів на технологічність.

У процесі розробки виробів порівнюють варіанти конструкції (рис. 2.1) та відпрацювання на технологічність, їх проводять за базовими показниками. Допускається провести порівняння варіантів та відпрацювання на технологічність за додатковими показниками, які не зазначені в складі базових, але будуть впливати на технологічність виробів.

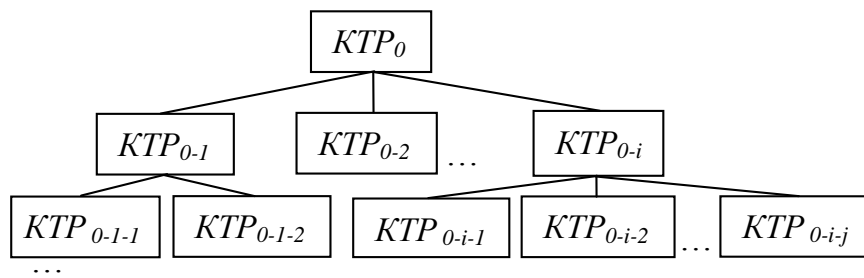


Рис. 2.1 Множина варіантів конструкторсько-технологічних рішень

Основні ознаки технологічності складальних одиниць.

Стосовно будови складальної одиниці:

- 1) складальна одиниця повинна поділятися на раціональну кількість складових частин;
- 2) конструкція повинна передбачати компонування зі стандартних, стандартизованих чи уніфікованих елементів;
- 3) конструкція складальної одиниці повинна мати базову частину, зручну для встановлення на робочому місці складання;
- 4) види, будова та розташування з'єднань повинні забезпечувати механізацію та автоматизацію складальних робіт;
- 5) компонування складальної одиниці та її складових частин повинно передбачати зручний доступ до місць, які вимагають контролю, регулювання та інших робіт.

Стосовно технологічного процесу складання:

- 1) складальні операції повинні виконуватися по можливості без складного технологічного оснащення;
- 2) складальна операція повинна виконуватися за незмінного базування базової деталі;
- 3) технологічні та вимірювальні бази повинні по можливості бути суміщеними;
- 4) можливість використання типових технологічних процесів.

Стосовно точності і методу складання:

- 1) точність розташування складових частин виробу повинна бути обґрунтованою та взаємопов'язаною з точністю виготовлення деталей і складових частин виробу;
- 2) вибір методу складання для заданого типу виробництва необхідно здійснювати на основі розрахунку й аналізу розмірних ланцюгів за методом максимуму-мінімуму чи ймовірнісним методом;
- 3) у конструкції деталей необхідно передбачати елементи, які забезпечували б задану точність відносного розташування складових елементів (центрувальних, компоновальних, фіксувальних тощо) [9].

Крім аналізу конструкції деталей на технологічність потрібно проводити ще й відпрацювання її на технологічність, що полягає в тому, що у конструкцію деталі внесені зміни, які дають змогу зменшити її собівартість виготовлення. Якщо такі зміни не можливо зробити, то визначаються елементи, які виконані у різноманітних нетехнологічних варіантах, обов'язково вказуючи, чому ці варіанти є нетехнологічними.

Кількісна оцінка технологічності конструкції складальної одиниці виражена показником у вигляді безрозмірного коефіцієнту, числове значення якого характерне ступеню задоволення вимог технологічності конструкції. При кількісній оцінці технологічності складальної одиниці, з урахуванням характеру її конструкцій, можливо розрахувати такі показники технологічності [9].

Коефіцієнт стандартизації деталей визначається за формулою

$$K_{\text{ст.дет}} = \frac{D_{\text{ст}}}{\sum D}$$

де D — кількість стандартних деталей;

$\sum D$ — сумарна кількість деталей.

Коефіцієнт стандартизації складальних одиниць визначається за формулою

$$K_{\text{ст. сб. ед}} = \frac{E_{\text{ст}}}{\sum E}$$

де $E_{\text{ст}}$ — кількість стандартних складальних одиниць.

$\sum E$ — сумарна кількість складальних одиниць по специфікації.

Коефіцієнт уніфікації деталей визначається за формулою

$$K_{\text{ун. дет}} = \frac{D_{\text{ст}}}{\sum D}$$

де $D_{\text{ун}}$ — кількість уніфікованих деталей;

$\sum D$ — сумарна кількість деталей.

Коефіцієнт уніфікації складальних одиниць визначається за формулою

$$K_{\text{ун. сб. ед}} = \frac{E_{\text{уп}}}{\sum E}$$

де $E_{\text{уп}}$ — кількість уніфікованих складальних одиниць;

$\sum E$ — сумарна кількість складальних одиниць по специфікації

Коефіцієнт складуваності визначається за формулою

$$K_{\text{сб}} = \frac{E}{E+D}$$

де E — кількість складальних одиниць, береться за специфікацією, D — кількість деталей

Коефіцієнт повторюваності визначається за формулою

$$K_{\text{пов}} = 1 - \frac{Q}{E+D}$$

Где Q - число найменувань деталей і складальних одиниць по специфікації.

Чим менше назв, тим конструкція більш технологічною.

Коефіцієнт машинного свердління визначається за формулою

$$K_{\text{маш. св}} = \frac{n_{\text{маш. св. отв.}}}{\sum n_{\text{отв}}}$$

Отформатовано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 pt

де $n_{\text{маш.св.отв.}}$ — кількість отворів, які можна свердлити на стаціонарному обладнанні.

$\sum n_{\text{отв}}$ — загальна кількість отворів в об'єкті збірки.

Коефіцієнт пресової клепки визначається за формулою

$$K_{\text{пр. кл}} = \frac{n_{\text{пр з-к}}}{\sum n_{\text{з-к}}}$$

де $n_{\text{пр з-к}}$ — кількість заклепок, які можна розклепати на стаціонарних або переносних пресах, в тому числі і на гуркотів установках;

$\sum n_{\text{з-к}}$ — загальна кількість заклепок в об'єкті складання.

Коефіцієнт автоматичної клепки визначаються за формулою

$$K_{\text{авт. кл}} = \frac{n_{\text{з-к.авт}}}{\sum n_{\text{з-к}}}$$

де $n_{\text{з-к.авт}}$ — кількість заклепок, які доцільно розклепують на автоматі;

$\sum n_{\text{з-к}}$ — спільна кількість заклепок в об'єкті складання.

Коефіцієнт застосування типових і групових операцій технологічного процесу визначається за формулою

$$K_{\text{тип. оп.}} = \frac{N_{\text{тип.оп}}}{\sum N_{\text{оп}}}$$

де $N_{\text{тип.оп}}$ — кількість типових операцій тех. процесу (наприклад: свердління, клепка, контроль та ін.);

$\sum N_{\text{оп}}$ — загальна кількість операцій тех. процесу складання.

Коефіцієнт трудомісткості складання визначається за формулою

$$K_{\text{тр.сб}} = \frac{T_{\text{расч}}}{T_{\text{факт}}}$$

Де $T_{\text{розр}}$ - розрахункова (за нормативами) трудомісткість складання, в н годину;

$T_{\text{факт}}$ - фактична (заводський варіант) трудомісткість, в н годину.

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 14 пт

2.3 Оцінка технологічності за допомогою DFA індексу

За кордоном найбільшого розвитку отримали такі методи DFA (Design for Assembly, конструювання, орієнтоване на складання): *Boothroyd Dewhurst System* [7], *Lucas DFA Technique* [26] та *Hitachi Assemblability Evaluation Method* [27].

Метод *Hitachi Assemblability Evaluation Method* базується на використанні двох показників: E – показник технологічності при складанні; K – вартісний показник покращення процесу складання.

Показник пристосованості деталі E_i до процесу складання розраховується шляхом віднімання певної кількості балів з загальної оцінки залежно від наявності у деталі «нетехнологічних» властивостей. Умова задовільної технологічності:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N} > 80,$$

де N – кількість деталей у виробі.

Якщо загальний показник $E < 80$ виконується перепроєктування, яке полягає в покращенні деталей з меншими значеннями E_i .

Вартісний показник покращення процесу складання розраховується як відношення вартості процесу складання нової конструкції до вартості складання попередньої. Задовільним вважається значення $K \leq 0.7$, тобто економія коштів складає мінімум 30%.

Boothroyd Dewhurst System – це метод, який допомагає інженеру оцінити технологічність конструкції виробу та спрямовує перепроєктування з метою зменшення вартості складання. Пристосованість виробу до складальних процесів оцінюється за допомогою DFA індексу E_{ma} :

$$E_{ma} = \frac{N_{\min} t_a}{t_{ma}},$$

де N_{\min} – теоретично мінімальна кількість деталей; t_a – базовий час встановлення деталі у виріб; t_{ma} – визначений час складання виробу.

Під базовим часом встановлення деталі у виріб розуміється усереднений час встановлення найпростішої деталі – 3 секунди. Теоретично мінімальна кількість деталей відповідає ідеальному випадку, коли виріб містить деталі, які є окремими тільки з огляду на наступне:

- Деталь повинна рухатись відносно інших деталей для забезпечення функціонування продукту.
- Матеріал деталі повинен відрізнятись, або деталь повинна бути ізолювана від інших.
- Деталь повинна бути окремою від інших, для забезпечення складання або розкладання виробу.

Метод *Lucas DFA Technique* складається з чотирьох основних етапів.

1. *Функціональний аналіз*. Спрямований на зменшення кількості деталей. Основними причинами, за якими деталь має бути окремою від інших вважаються наступні:

- Відносний рух (*Relative movement*)
- Унікальний матеріал (*Unique material*)
- Заміна при обслуговуванні (*Service replacement*)

Якщо деталь є окремою від інших за однією з трьох названих вимог, вона вважається «основною» (*essential*) А-деталлю, в іншому випадку деталь вважається «неосновною» (*nonessential*) В-деталлю. Показником якості конструкції *DE* є відношення кількості «основних» деталей до загальної кількості деталей у виробі (значення повинно бути не меншим 60%), тобто:

$$DE = \frac{A}{A+B} \cdot 100 > 60\%$$

2. *Аналіз оперування деталлю.* Виявляє проблеми з ручним або автоматизованим оперуванням деталлю. Базується на аналізі розмірно-масових характеристик, форми та певних фізичних особливостей деталей.

3. *Аналіз складання.* Визначення складності кожного складального переходу. Метод передбачає завдання послідовності складання та змісту технологічних операцій у виді діаграми (рис. 2.2), в якій геометричними фігурами відображається тип виконуваних дій, всередині геометричної фігури вказується час, а лінії відображають послідовність виконання переходів.

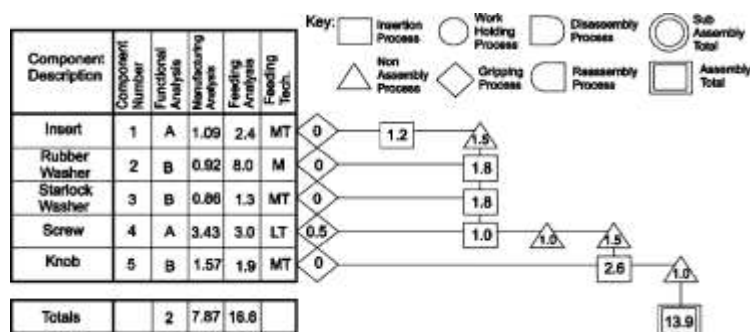


Рис. 2.2 Діаграма послідовності складання, метод *Lucas DFA Technique*

4. *Аналіз виробництва.* Передбачає визначення відносної вартості виробництва деталей відповідно до форми, матеріалу деталі та виробничих процесів.

2.4. Висновки по розділу

Виконаний порівняльний аналіз методів оцінки та підвищення технологічності складальних виробів. У розглянутих методах при оцінці часу виконання складальних операцій використовуються ідентичні геометричні та фізичні характеристики деталей. Отже, можна використати схожу систему

оцінювання, яка базується на геометричних, масових та специфічних характеристиках деталей, так як її життєздатність підтверджена багатьма виробничими дослідженнями.

Варіанти конструкторсько-технологічних рішень доцільно порівнювати на основі вартості або часу виконання технологічних операцій складання.

РОЗДІЛ 3

Формалізація методики підвищення технологічності з'єднань деталей складальних виробів

3.1 Класифікація з'єднань.

Існує декілька варіантів класифікації з'єднань деталей.

За збереженням цілісності після розкладання:

- рознімні (різьбові, клинові, штифтові, шпонкові, шліцьові, стопорні)
- нерознімні (з натягом, вальцьовані, клепані, зварні, паяні, клеєні).

За можливістю відносного руху деталей:

- рухомі;
- нерухомі.

За формою спряжуваних поверхонь:

- пласке з'єднання
- циліндричне
- конічне
- сферичне
- гвинтове
- профільне

Циліндричне з'єднання. Циліндричне з'єднання є одним з найбільш поширених. Це є з'єднання вінця черв'ячних (або зубчастих) колес з центрами; посадка підшипника кочення на вал і так далі. Натяг – це від'ємна різниця між діаметром отвору та діаметром вала.

Як тільки деталі з'єднані то створюється спільний діаметр посадочних поверхонь, це являється номінальним діаметром з'єднання. За рахунок пружних сил від деформації з'єднаних деталей в зоні спряження поверхонь виникне розподілений тиск.

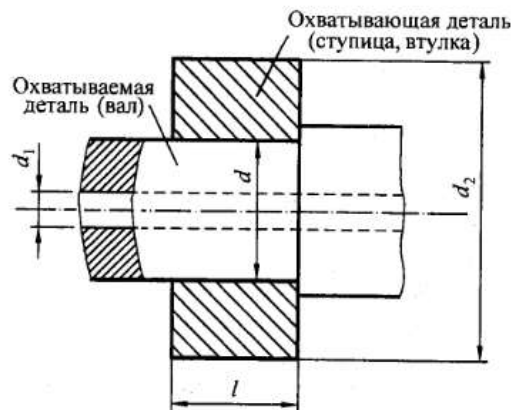


Рис. 3.1 Циліндричне з'єднання

Шпонкове з'єднання. Це — один з видів з'єднання валу зі втулкою з використанням додаткових конструктивних елементів шпонки, яка призначена щоб запобігти його відносного провертання. Його найчастіше використовують щоб передати крутний момент в з'єднанні обертового валу з зубчастим колесом або шківками. З'єднання з натягом забезпечують взаємну нерухомість деталей без додаткових конструктивних елементів, а шпонкові з'єднання — розбірні. Шпонкові з'єднання бувають ненапружені та напружені. Ненапружені з'єднання реалізовані за допомогою призматичних та сегментних шпонок, напружені — за допомогою клинових та тангенціальних шпонок.

Переваги і недоліки

До *переваг* шпонкових з'єднань відносять:

- простота будови та виготовлення;
- надійна конструкція;
- низька вартість;
- нескладний монтаж та демонтаж.

Недоліком шпонкових з'єднань називають:

- послаблення міцності валу та маточини шпонковими пазами;
- обмеження моменту, який передає міцність шпонки;

- ускладнення конструкції у разі переміщення деталі (блоку шестерні) вздовж валу [10].

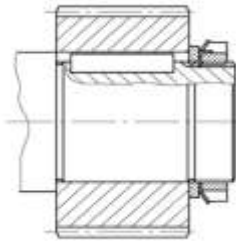
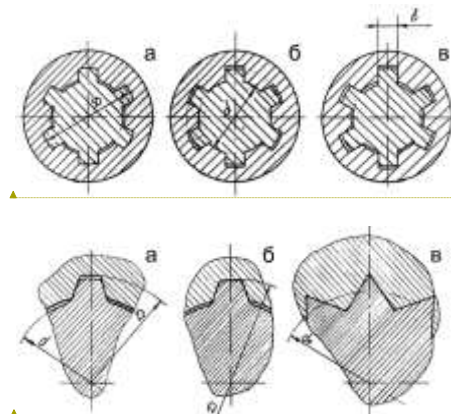


Рис. 3.2 З'єднання призматичною шпонкою [10]

Шліцьове з'єднання. Шліцьові (зубчасті) з'єднання широко застосовуються в машинобудуванні завдяки багатьом перевагам порівняно зі шпонковими: а) підвищена витривалість з'єднання, особливо при динамічних навантаженнях, за рахунок збільшеної площі робочих поверхонь зубів; б) краще центруються деталі на валу та краще спрямовані при осьових переміщеннях. За формою профілю зуба розрізняють три типи з'єднання: прямо бічні, евольвентні та трикутні. Позначення шліцьового з'єднання, валів та втулок повинні містити: номінальний діаметр з'єднання D ; модуль m ; позначення посадки з'єднання, що розміщується після розмірів центрувальних елементів; номер стандарту [11].



Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 12 пт

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Times New Roman, 12 пт

Рис. 3.3 Вибір шліцьового з'єднання [11]

Різьбові з'єднання. До різьбового з'єднання відносять з'єднання, які утворюють: болти з гайками, гвинти, шпильки, установочні гвинти, анкерні болти, різьбові вставки та гвинти-саморізи. Вони всі відносяться до різних з'єднань, що, за винятком гвинтів-саморізів, допускають розкладання при ремонті та обслуговуванні і повторне складання. Різьбові з'єднання можуть використовуватись для фіксування взаємного положення двох, трьох або більше деталей.

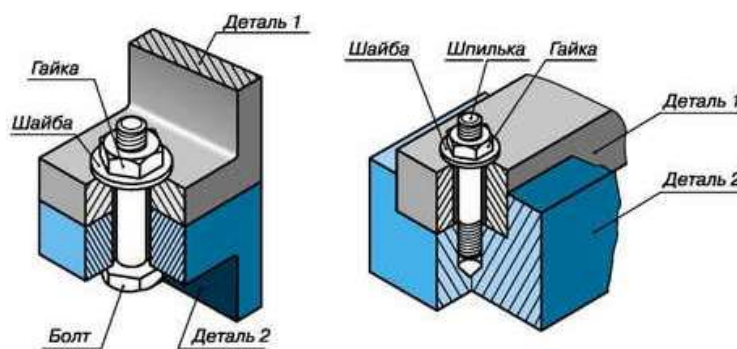


Рис. 3.4 Види різьбового з'єднання [12]

У сучасному машинобудуванні великого значення набувають різьбові з'єднання, які застосовуються для різноманітного з'єднання деталей. До позитивних якостей відносять: універсальність, надійність, зручність складання й розкладання, простота виготовлення. До основних деталей різьбових з'єднань відносять: болти з гайками, гвинти, та шпильки.

Гвинти відрізняють від болтів так званим загвинчуванням безпосередньо в різьбовий отвір деталей виробу, які з'єднуються. На відміну від болтових у гвинтових з'єднаннях відсутні гайки.

Шпилька – це циліндричний стержень, який має різьбу з двох кінців. Один кінець шпильки закручують в різьбовий отвір деталі, а на інший накручують гайку. Воно складається з самої шпильки, шайби, гайки і деталей

які з'єднуються. Їх використовують, лише тоді коли нема місць для голівок болта або коли одна з деталей, які з'єднують має велику товщину [12].

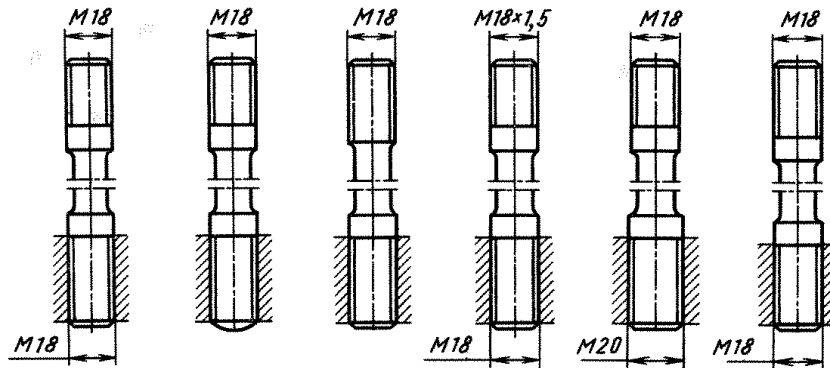


Рис. 3.5 Підвищення технологічності з'єднання за допомогою шпильки

Заклепкові з'єднання. Заклепкові з'єднання відносять до класів нероз'ємного з'єднання. Заклепки застосовують в дуже відповідальних конструкціях, на які діють великі вібраційні або повторні навантаження; для з'єднань деталей, які не зварюються, в конструкціях, які не можна зварити через викривлення або існує небезпека відпуску термооброблених деталей.

Переваги : заклепкові з'єднання порівняно зі зварними з'єднаннями більше стабільні, краще їх контролювати.

Недоліки: вартість виготовлення висока, витрата металу підвищена, шум та вібрація в процесі заклепування.

Заклепка складається зі стрижня круглого поперечного перерізу який має головку на кінцях. Заставна головка виконується одночасно з стрижнем, а замикає на формуванні при заклепуванні. Діаметр отворів під заклепки в з'єднувальних деталях роблять більшим за діаметр стрижня заклепки. В результаті заклепування стрижень заклепки щільно заповнить отвори [14].

При розробленні технологічного процесу складання клепаных конструкцій необхідно враховувати наступне: якщо прийняти трудомісткість

складання вузла (панелі) при свердлінні отворів дрилем та клепа́ння за 100%, то при свердлінні отворів на свердлильно - клепа́льних установках (СЗУ) і кле́пки на пресах одиночного клепа́ння трудомісткість складе 48%; при застосуванні СЗУ і клепа́льних пресів для групової кле́пки -23 %, а при застосуванні свердлильно - клепа́льних автоматів трудомісткість складе всього 10 % , тобто в 10 разів менше, ніж за першим варіантом [9].

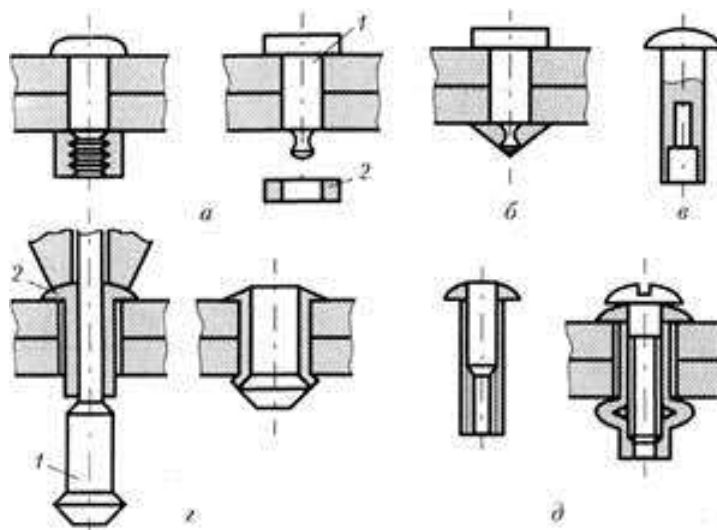


Рис. 3.6 Закле́пки з висо́ким опо́ром зрі́зу [14]

3.2 Формалізація представлення з'єднань з метою оцінки технологічності

Склад механічних зв'язків елементів конструкції описується відносно базової системи координат складальної одиниці за допомогою одиничних баз [16, 6]. Одинична база – векторна величина, зумовлена існуванням активної сили або реакції в'язі, що діє на a в напрямку T відносно базового елемента b . Елемент a , що не має жодного можливого переміщення, буде мати дванадцять одиничних баз: шість поступальних та шість обертальних. Склад механічних зв'язків елемента a з b можна описати бульовим вектором базування B , компонентами якого будуть логічні значення булевих змінних. З іншого боку, загальний характер можливих рухів a відносно b може бути описаний

Отформатировано: По центру,
Междустр.интервал: 1,5 строки
Отформатировано: русский

рівнянням D , що включає склад можливих переміщень та опис їх взаємозв'язку за допомогою логічних операцій:

$$D_{i(j)} = \begin{cases} D^\alpha \wedge D^\beta, \text{ якщо } D^\alpha \text{ та } D^\beta \text{ можуть бути реалізовані тільки одночасно} \\ D^\alpha \vee D^\beta, \text{ якщо } D^\alpha \text{ та } D^\beta \text{ можуть бути реалізовані або одночасно} \\ \text{або по чергово у будь якій послідовності} \\ D^\alpha \nabla D^\beta, \text{ якщо } D^\alpha \text{ та } D^\beta \text{ можуть бути реалізовані тільки по чергово} \\ \text{у будь якій послідовності,} \end{cases}$$

де D^α , D^β на логічному рівні розглядаються як логічні змінні:

$$D^\alpha = \begin{cases} 1, \text{ якщо } d^\alpha > \Delta^\alpha \\ 0, \text{ якщо } d^\alpha \leq \Delta^\alpha \end{cases},$$

де d^α - модуль переміщення D^α , Δ^α - величина вектору D^α , задана при вирішенні конкретної задачі.

Таке представлення з'єднання двох деталей дозволяє припустити, що на основі моделі взаємодії деталей виробу у вигляді матриць або графів суміжності можна формально описати з'єднання.

Основу формалізованого представлення СВ, запропонованого в роботах [18-20, 17, 21, 22, 23] складає поняття *бінарного відношення обмеження рухливості* (БВОР) – характеристики просторових зв'язків, яке визначає можливі поступальні та обертальні переміщення деталей в певному напрямку, відносно обраної системи координат. Дана модель набула певного розвитку з моменту свого створення і на сьогоднішній день входить до складу запропонованого в [16, 21, 22] математичного опису об'єкту складання.

Перевагами даної моделі є аналіз впливу на можливість переміщення певної деталі відносно всіх деталей виробу, що разом з інформацією про типи з'єднань дозволяє визначити структуру виробу, а також можливість реалізації

автоматизованого отримання початкових даних (якщо модель створена в одній з сучасних систем 3D моделювання). Наведений математичний опис може бути використаний для задачі ідентифікації з'єднання.

Метод ідентифікації з'єднання на основі CAD моделі виробу та його представлення у моделі БВОР розглянутий в [23]. Так, за допомогою змінної первинної інформації, отриманої безпосередньо з CAD моделі можна отримати: ознаки специфіки виконання з'єднань деталей у виробі (зварювання, пайка, клейове); змінної вторинної інформації – можна отримати вид і тип з'єднання для моделі БВОР; умовно-постійна інформація (довідкова) про можливі з'єднання деталей.

3.3 Оцінка трудомісткості реалізації з'єднання

Розрахунок трудомісткості виконання технологічних переходів для утворення з'єднання може бути виконаний за допомогою нормативних документів (наприклад, рис.) на основі часу (як допоміжного так і основного) реалізації з'єднання.

Нормы времени на установку деталей на вал со шпонкой вручную при помощи молотка												
Вес устанавливаемой детали в кг												
До 3		4-6			7-10			11-30				
Поперечное сечение в мм												
Диаметр вала, мм	6х6	8х8	10х10	12х12	14х14	16х16	18х18	20х20	22х22	25х25	28х28	30х30
	Время насадок на длину $l = 10$ мм в мм.											
20	1,25	1,50	1,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	1,00	1,20	1,32	1,50	—	—	2,0	—	—	—	—	—
40	0,85	1,00	1,15	1,30	1,40	1,57	1,70	—	—	—	—	—
50	0,76	0,92	1,00	1,15	1,28	1,40	1,57	1,75	—	—	—	—
60	0,68	0,84	0,92	1,05	1,17	1,30	1,40	1,60	1,90	—	—	—
70	—	0,77	0,86	0,97	1,08	1,18	1,28	1,48	1,75	2,00	—	—
85	—	0,58	0,78	0,87	0,98	1,05	1,18	1,30	1,60	1,80	2,20	—
100	—	0,52	0,70	0,80	0,90	0,98	1,08	1,20	1,45	1,68	2,00	—
125	—	—	—	0,70	0,87	0,87	0,95	1,07	1,30	1,50	1,75	—
150	—	—	—	0,64	0,70	0,78	0,85	0,98	1,18	1,35	1,60	—

Примечание. Приведенными в таблице нормами времени предусматривается выполнение следующих приемов работы:

- 1) взять деталь со стола, находящуюся на расстоянии до 1 м;
- 2) насадить деталь на шпонку при помощи молотка;
- 3) проверить установленную деталь.

Рис. 3.7 Норми часу на встановлення деталей на вал зі шпонкою

Іншим критерієм порівняння може бути, наприклад, умовний DFA індекс. Згідно такої методики, варіанти конструкції порівнюються шляхом оцінки складності виконання складальних операцій згідно з набором таблиць, що базуються на емпіричних даних, отриманих з виробничого досвіду. Конструктор вибирає коефіцієнти з таблиць згідно властивостям деталі, потім усі коефіцієнти складаються та рахується загальний індекс. Деталь аналізується з точки зору її розмірів та маси, складності захвату, орієнтування, подачі, управління, встановлення під час складання та ін. (рис. 3.8)

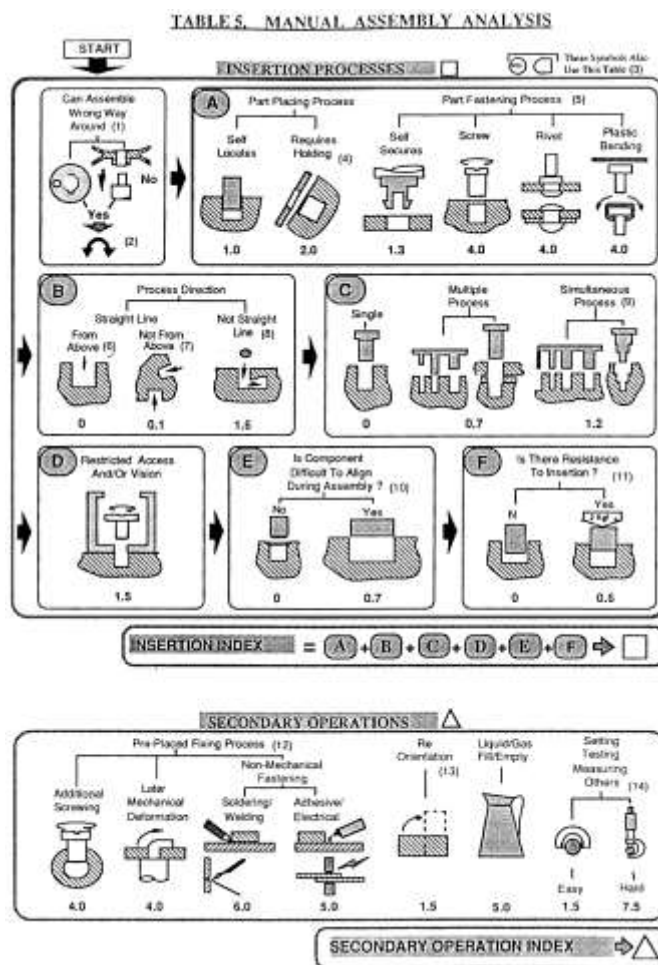


Рис. 3.8 «Design for assembly/manufacturing analysis practitioners manual»

3.4 Спрощення конструкцій шляхом заміни з'єднань

Автоматизація складального виробництва слугує поштовхом до накопичення та формалізації позитивного досвіду виконання як самих деталей так і їх з'єднання. Такий підхід являється основним в експертних системах, які підтримують DFA аналіз складання. Крім того, аналіз такого роду може виконуватись за час розроблення конструкції або навіть на стадії концептуального проектування. Аналіз існуючих рекомендацій, які спираються на досвід виробництва дозволяє систематизувати правила конструювання, які спрямовані на підвищення технологічності з точки зору складальних процесів [15].

В результаті дослідження існуючих методів аналізу конструкції виробу з точки зору технологічного процесу складання, визначені три напрямки підвищення пристосованості виробу (рис. 3.9).

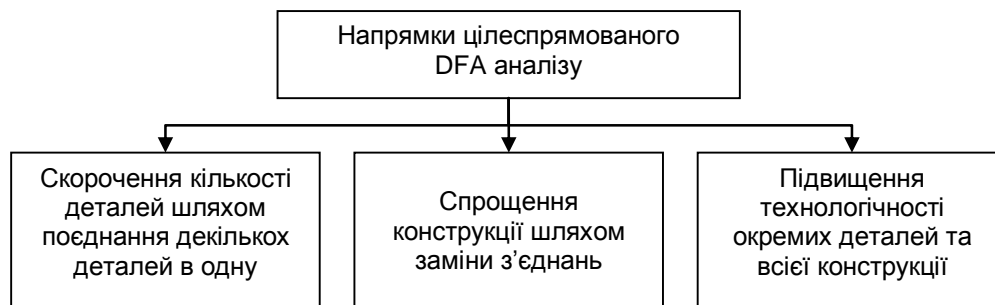


Рис. 3.9 Напрямки аналізу технологічності з точки зору складання

Пропонується виконувати аналіз виробу в такій послідовності. В першу чергу необхідно дослідити можливість скорочення кількості деталей виробу без втрати його функціональності. Починати необхідно з аналізу з'єднань.

В [24] було виявлено три типи з'єднань:

- I. з'єднання, яке утворюють лише дві деталі, контактено обмежені в усіх шести координатних напрямках. Прикладами таких з'єднань є різьбові,

пружні з'єднання (з'єднання за допомогою стопорних кілець) або з'єднання пластичною (шплінтові з'єднання) деформацією.

- II. з'єднання, які утворюють лише дві деталі, обмежені в усіх шести напрямках, але як мінімум одне з обмежень рухливості є віддаленим.
- III. з'єднання, що складаються з групи деталей. Такі з'єднання мають наступну особливість: наявність лише однієї деталі, яка обмежує контактну чи віддалено всі інші деталі і є його основою.

Підвищення технологічності складального виробу можна досягти шляхом заміни з'єднань третьої групи з'єднаннями першої та другої груп.

Основні напрямки підвищення технологічності з'єднання:

- 1. Зменшення кількості з'єднань, що потребують більше одиниці обладнання для своєї реалізації.
- 2. Спрощення складальних рухів (заміна різьби пресовим з'єднанням, пресового з'єднання – з'єднанням, що реалізується пружною деформацією).
- 3. Зменшення типів та розмірів елементів кріплення.
- 4. Забезпечення єдиного напрямку орієнтації елементів кріплення.

Спрощення складання можна досягти шляхом:

- 1. Заміни шпонкового з'єднання шліцьовим.
- 2. Заміни в з'єднаннях кріплення за допомогою шайби з шплінтом та установочного кільця з гвинтом на з'єднання з кріпленням розрізним пружинним кільцем.
- 3. Заміна кріплення гвинтами на кріплення пружним кільцем або байонетне (рис. 3.10).
- 4. Поєднання гвинтів та шайб в одну деталь.
- 5. Заміна стопоріння болтів, гвинтів та гайок за допомогою обв'язувальної проволочи, шплінтів та штифтів стопорінням контргайкою, конічною поверхнею гайки, пружинною шайбою, шайбою із зубцями і т.п.

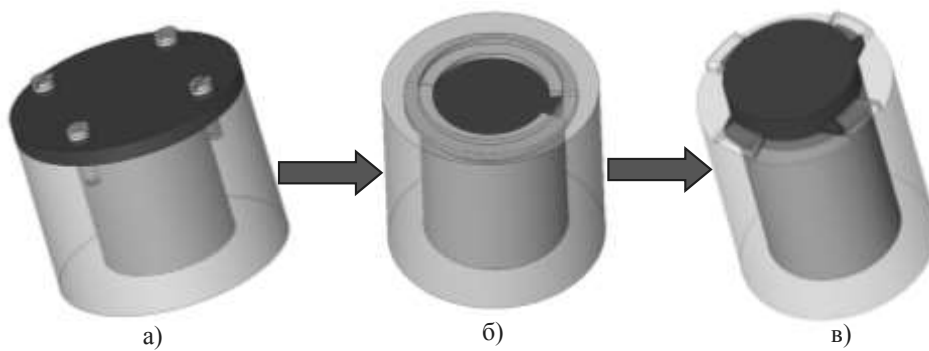


Рис. 3.10 – Спрощення складання шляхом заміни з'єднань:

а) – кріплення за допомогою гвинтів;

б) – кріплення пружинною шайбою; в) – байонетне кріплення

6. Заміна заклепкових з'єднань зварними чи клейовими або виключення використання заклепок шляхом створення на одній з деталей спеціальних виступів, на які отворами встановлюють деталі, що приєднуються, після чого виконуються розклепування (рис. 3.11).

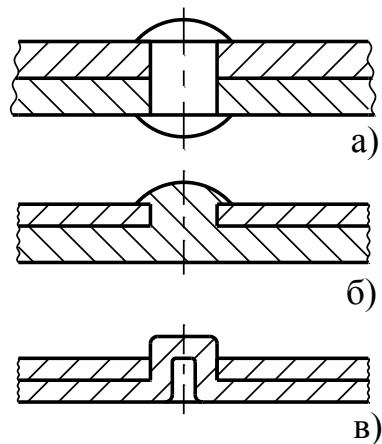

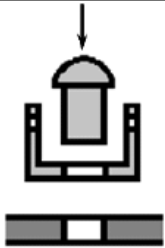
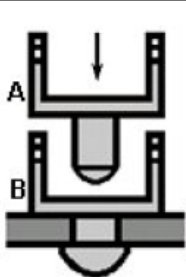
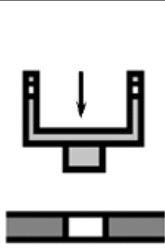
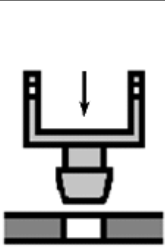


Рис. 3.11 – Заклепкове з'єднання (а) та варіанти його заміни (б, в)

Заміна з'єднань в загальному випадку призводить до скорочення кількості деталей у виробі, зменшення часу складання, зменшення кількості необхідного обладнання, тощо (рис. 3.12).

Після аналізу з'єднань необхідно проаналізувати можливість заміни груп деталей виробу інтегрованими деталями.

DFMA Design Improvement Example				
START				FINISH
				
<ul style="list-style-type: none"> • 3 parts • Requires a screwdriver • Needs careful alignment • Time-consuming 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 parts • Requires a rivet gun • Alignment not as delicate • Assembly time less 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 parts • Integrated fastener & cradle (A becomes B) • Requires machine to secure the head of the fastener 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 parts • Integrated fastener & cradle • Requires machine to press part into place 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 parts • Integrated fastener & cradle • Can be hand-pressed into place—even by the consumer—and can be removed

Product cost = \$0.66
Assembly time = 20.92 seconds

→

Product cost = \$0.38
Assembly time = 8.82 seconds

Рис. 3.12 Скорочення часу і вартості складання шляхом заміни з'єднань, запозичено з [7]

Після того, як кількість деталей виробу зменшено, необхідно дослідити відповідність реалізації з'єднань вимогам технологічності (наприклад, забезпечення єдиного напрямку орієнтації елементів кріплення). Останнім етапом є підвищення технологічності конструкцій окремих деталей.

3.5. Висновок до розділу

Можливі з'єднання деталей у виробі класифіковані за складністю реалізації. Досліджені вимоги по забезпеченню ефективності складання. Проаналізовані моделі представлення з'єднань та оцінки їх технологічності.

Розроблені рекомендації та методика формалізованого аналізу з'єднань з метою підвищення технологічності виробу можуть бути використані при створенні системи підтримки прийняття рішень при проектуванні та порівняльній оцінці конструкцій складальних виробів.

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Підвищення технологічності складального виробу

Ефективність розробленої і розділі 3 методики перевіriamo на прикладі складального виробу «Гідравлічний насос» (рис. 4.1) із застосуванням програмного продукту DFA Expert [25].



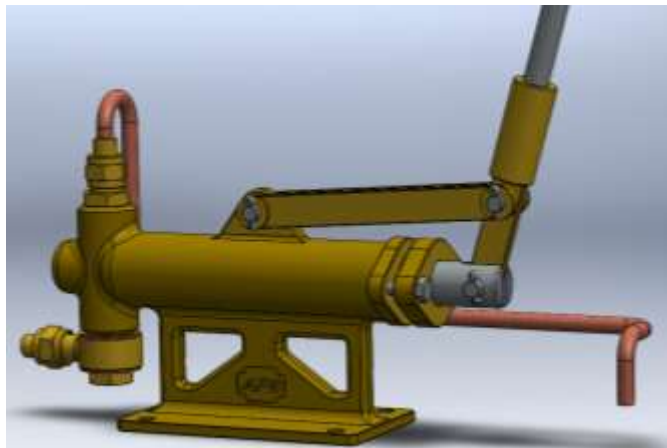
Рис. 4.1. Зображення ручного гідравлічного насосу

Насос призначений для прокачування рідин (мастило, вода, паливо і т.д.) під дією фізичної сили користувача.

Для початкової конструкції гідравлічного насосу була створена тривимірна модель (рис. 4.2) в середовищі SOLIDWORKS.

З метою оцінки вартості утворення з'єднань, які будуть аналізуватись, у середовищі DFA створено модель технологічного процесу складання (рис.4.3). Початкова конструкція насосу має 31 деталь, з яких з метою спрощення моделі

в аналізі будуть брати участь 18 деталей, які безпосередньо утворюють нетехнологічні з точки зору складання з'єднання (базове конструкторсько-технологічне рішення KTP_0).



а)



б)

Рис. 4.2. а) тривимірна модель ручного гідравлічного насосу б) тривимірна модель ручного гідравлічного насосу в розкладеному виді

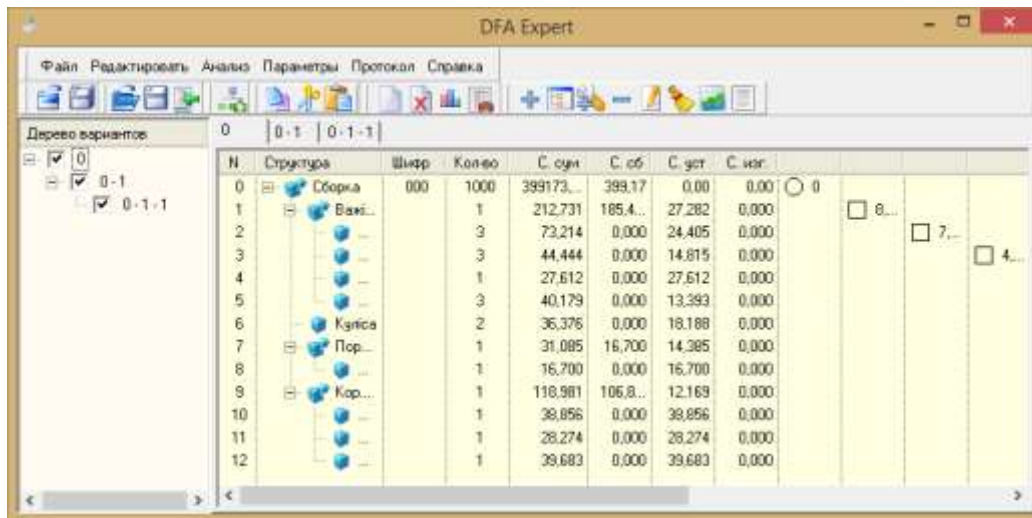


Рис. 4.3. Представлення СВ «Гідравлічний насос» в середовищі DFA Expert

Для початкової конструкції отримали час складання з'єднань 1200 сек.

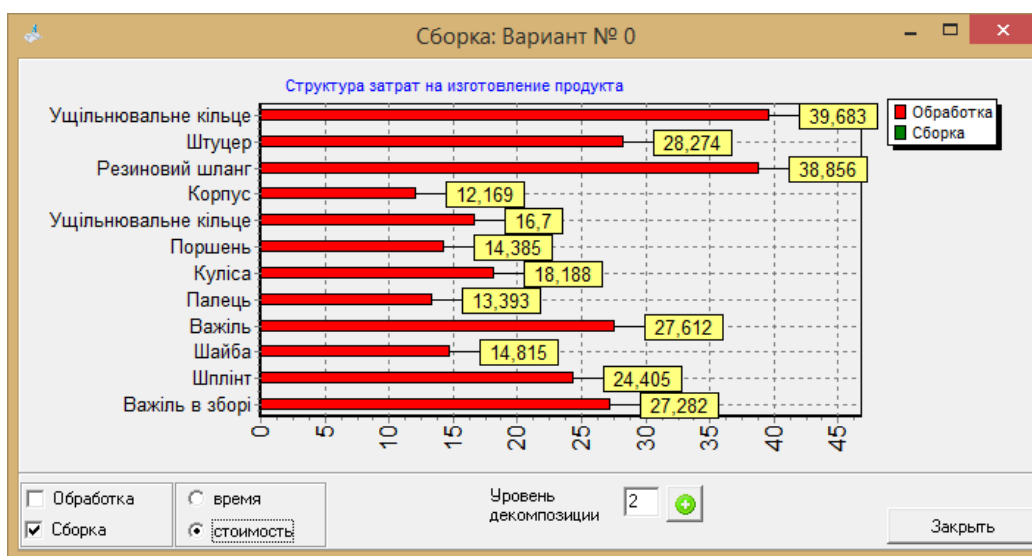


Рис. 4.4. Структура витрат базового КТР₀

За допомогою розробленої методики формалізованого аналізу з'єднань виявлені нетехнологічні шплінтові з'єднання. Рекомендована заміна – з'єднання за допомогою стопорних кілець. Розроблений тип кріплення деталі

«Палець» під стопорне кільце дозволяє виконати кріплення важеля без потреби загинати кінці шплінта із збереженням умов надійності кріплень.

Конструкторсько-технологічне рішення КТР₀₋₁ представлено на рис 4.5. Новий варіант конструкції містить 15 деталей, час складання зменшено до 960 сек.

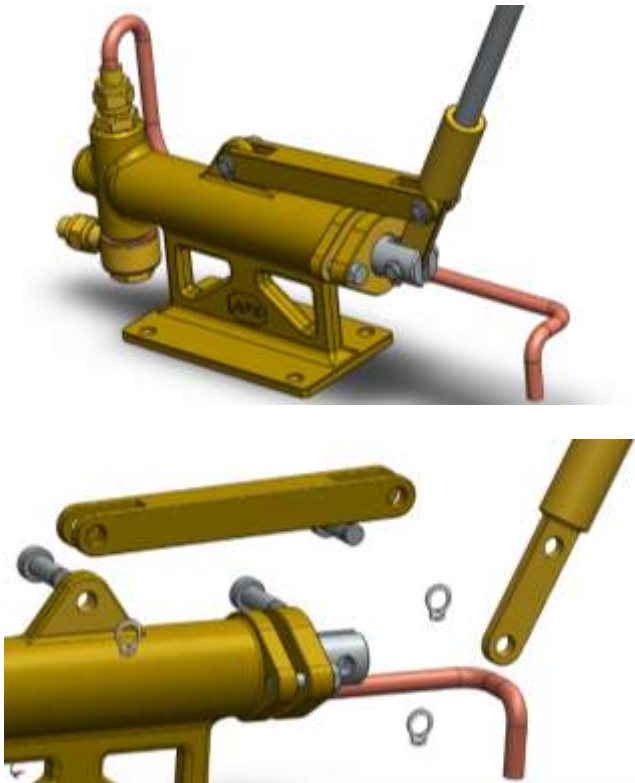


Рис. 4.5. Нова конструкція СВ «Гідравлічний насос», КТР₀₋₁

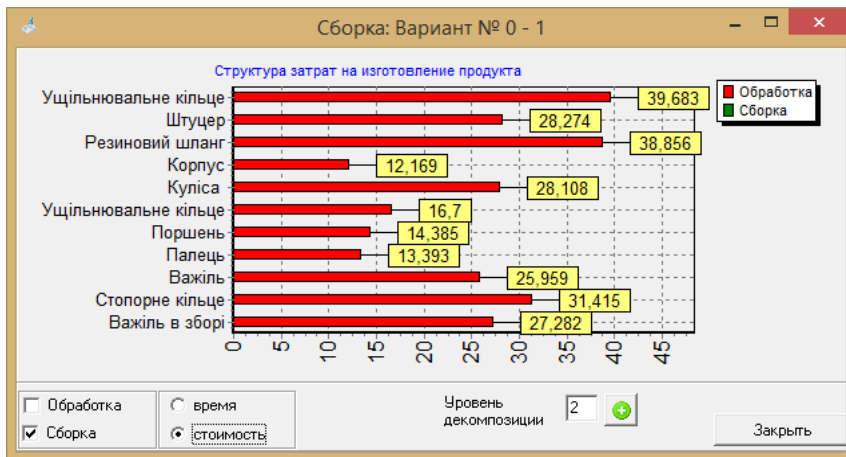
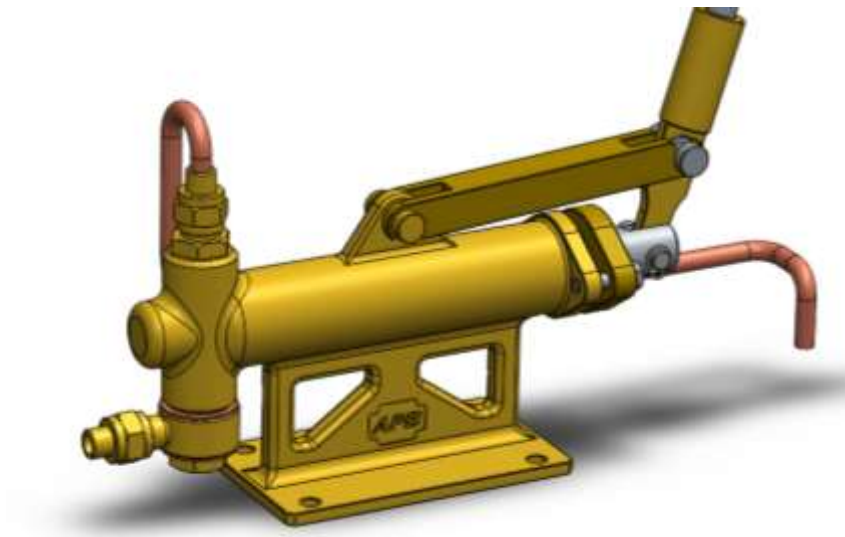


Рис. 4.6. Структура витрат $KTP_{0.1}$

Наступна ітерація застосування методики до $KTP_{0.1}$ дозволила замінити з'єднання за допомогою стопорних кілець з'єднаннями із самозакріпленням типу «заскочка». Окрім того, згідно з методикою проведений аналіз можливості заміни декількох деталей однією. Так, дві куліси замінені однією об'єднаною деталлю, а також деталь «Палець» усунена за допомогою утворення спеціального конструктивного рішення на корпусі (рис. 4.7).



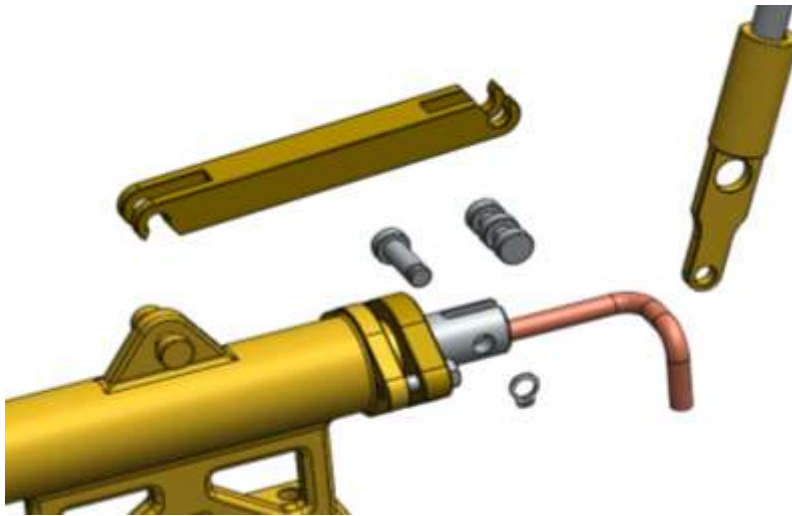


Рис. 4.7. Нова конструкція СВ «Гідравлічний насос» КТР₀₋₁₋₁

Кількість деталей скорочено до 11. Для нового КТР₀₋₁₋₁ СВ «Насос ручний» за допомогою DFA Expert синтезований технологічний процес складання, час складання становить 870 сек. Розроблена конструкція самозакріплення типу «заскочка» дозволяє зменшити кількість операцій і їх трудомісткість, а отже спростити процес складання.

Результати порівняння отриманих конструкторсько-технологічних рішень представлені на рис. 4.8.

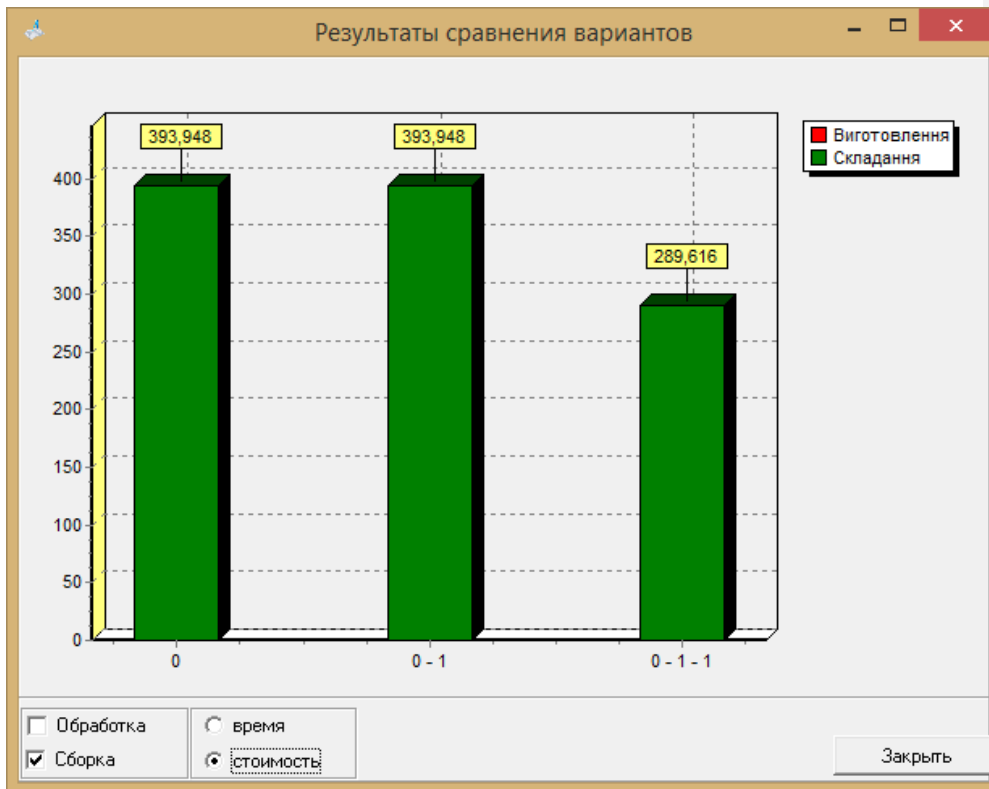


Рис. 4.8 Результаты порівняння КТР виробу «Гідравлічний насос»

4.2. Висновки по розділу

Ефективність використання розробленої в розділі 3 методики підвищення ефективності процесу складання на основі формалізованого аналізу його конструкції підтверджена при перепроєктуванні конструкції складального виробу «Насос ручний». Практичне застосування методики дозволило скоротити кількість деталей у виробі на 40%, зменшити відповідно час складання виробу на 28%. Очікуваний економічний ефект від впровадження нової конструкції складає 110 тис. грн. при розмірі партії 1000 шт.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Розробка стартап-проекту

В цьому розділі потрібно провести маркетинговий аналіз стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження. Проведення маркетингового аналізу передбачає виконання нижченаведених кроків.

5.2 Опис ідеї проекту.

Розроблення та впровадження пневматичних циліндрів в «операторській техніці».

Впровадження такої продукції значно покращить операторські крани, а також скоротить час на технологічну підготовку, що є актуальними проблемами в наш час у машинобудуванні.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розроблення та впровадження пневматичних циліндрів в «операторській техніці».	Машинобудування	Зменшення фінансових затрат та часу на технологічну підготовку

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

Таблиця 5.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
1	Простота конструкції	Мій проект	Проект конкурента	–	–	+
2	Низька вартість			–	–	+
3	Швидкість виготовлення			–	+	–
4	Продуктивність			–	–	+
5	Широкий діапазон застосування			–	–	+
6	Рентабельність			–	–	+
7	Наявність товару заміни			–	+	–

5.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових, табл. 5.3:

- За якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- Чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- Чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 5.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення умов для забезпечення процесу	1. Створення бази даних інструментів	1. Наявні	1. Доступні
2		2. Розробка алгоритму вибору інструментів	2. Наявні	2. Доступні
		3. Випробування	3. Наявні	3. Доступні
		4. Її апробація	4. Наявні	4. Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: єдина, що можлива для реалізації				

За всіма показниками проект можливо запустити.

5.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців	1
2	Загальний обсяг продаж	до 20 од. в місяць
3	Динаміка ринку	Стабільна
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Обмеження в застосуванні продукції
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Безпечність конструкції
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	80%

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 5.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Вибір якісного обладнання	Технологи машинобудування	Немає	- Якість результатів - Низька ціна продукту

				-Зручність у використанні -Можливість модернізації
--	--	--	--	---

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають, табл. 4.6-4.7. Фактори в таблиці подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 5.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
1	Недовіра новому	Недовіра до нової конструкції на ринку	Вибір перевіреного товару конкурента в якості прототипу. Лабораторні тестування з відкритими результатами, Представлення на виставках.
2	Не досконалість	Виявлення недосконалості в конструкції в порівнянні з конструкцією конкурента	Перегляд конструкції, усунення недоліків, заміна по гарантії.
3	Підвищення конкуренції	Поява в асортименті конкурентів аналогічної конструкції	Патентування конструкції, створення унікального дизайну, підвищення об'ємів виробництва.

Таблиця 5.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
1	Розширення асортименту	Збільшення характеристик	Залучення цих можливостей в модернізацію.

Аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 5.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції	Монополія	Зацікавити новітнім оригінальним та якісним продуктом.
2. Рівень конкурентної боротьби	Локальна	Вихід продукту на міжнародний ринок.
3. За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева	Підтверджувати якість продукту
4. Конкуренція за видами товарів:	Товарно-видова	Підтверджувати якість продукту та оригінальність
5. За характером конкурентних переваг	Цінова	Доступність продукту
6. За інтенсивністю	Марочна	Розвиток марки програмного продукту

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові фактори аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Прямими конкурентами є інші компанії.	Потенційними конкурентами є компанії, які спробують освоїти даний продукт	Підприємства, які виготовляють стандартні комплектуючі.	Споживачі вузького кола.	Відсутній товар-замінник
Висновки:	Складно визначити інтенсивність конкуренції	Ця програма є перспективною, має можливість виходу на ринок, потенційних конкурентів мало	Недостатньо ресурсів	Клієнти обирають з того, що мають та не диктують умов	Немає обмежень через відсутність товарів-замінників

Отже, товари-замінники відсутні, конкуренція на міжнародному рівні наявна, але продукт перспективний, конкурентоспроможний і має можливість виходу на ринок.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Таблиця 5.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Недовіра новому	Недовіра до нової конструкції на ринку

2	Не досконалість	Виявлення недосконалості в конструкції порівняно з конструкцією конкурента
3	Підвищення конкуренції	Поява в асортименті конкурентів аналогічної конструкції
4	Розширення асортименту	Виготовлення нових інструментів
5	Стандартизація	Впровадження нових стандартів компонентів

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту, табл. 5.11.

Таблиця 5.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з іншими методами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Недовіра новому	15							+
2	Не досконалість	14	+						
3	Підвищення конкуренції	16		+					
4	Розширення асортименту	19							+
5	Стандартизація	17				+			

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 5.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Можливості: Зменшення ціни на даний продукт, збільшення можливостей конструкції, модернізація	Загрози: недовіра до марки, малий попит на продукт, збільшення конкурентів на ринку
---	---

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, табл 5.13.

Таблиця 5.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Доопрацювання, усунення недоліків	+	Від 2х до 3х місяців
2.	Публікація результатів лабораторних досліджень та тестів	+	Від 1го до 3х місяців
3.	Спонсорська підтримка	+	Від 3х до 12ти місяців

5.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Просто-та входу у сегмент
1	Професійна група	±	+	+	±
2	Напівпроф. група	+	+	+	+
3	Аматорська група	+	±	±	+
Які цільові групи обрано: стратегія диференційованого маркетингу					

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
		Стратегія диференційованого	Розширення лінійки виробів	Стратегія диференціації

		маркетингу		
--	--	------------	--	--

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки

Таблиця 5.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Забирати існуючих	Буде, ті характеристики, які справляються з поставленою задачею.	Зробити кращу конструкцію.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного
-------	-------------------------------------	---------------------------	--	---

				проекту (три ключових)
1	Якість, безпека, характеристики, зовнішній вигляд	Стратегія диференціації	Широкий спектр застосування	Новизна виробу, цінова політика, якість роботи продукту, виключні характеристики

5.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Покращені характеристики	Автоматизований вибір інструментального забезпечення	Простіше і швидше
2	Низька вартість	Знижена собівартість виробу	Нижча ціна
3	Можливість вибору	Розширення можливості	Ширший асортимент товару для всіх груп потенційних покупців

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання.

Таблиця 5.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Продуктом є конструкція, завданням є зібрати її з деталей в єдине ціле.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	Висока швидкість виконання роботи
	Якість: регламентовано стандартами та нормативами ДСТУ
	Марка: назва організації-розробника «ФЛМ» + назва товару «Стабілізований підйомник»
III. Товар із підкріпленням	До продажу: операторська техніка
	Після продажу: гарантійне обслуговування
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: реєстрація торгової марки, промислового зразка, корисної моделі, винаходу, оригінальний вигляд .	

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме конструкція буде захищена від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститутути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів, табл. 4.20. Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Від 1800\$	До 100000\$	1500-2500\$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення, табл. 4.21:

- Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- Вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1		Збут власними силами	міжнародний	структурована
2	Збут через дилерів	Зберігання, сортування, встановлення контакту, інформування	міжнародний	структурована

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, табл 4.22.

Таблиця 5.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук аналогів	Інтернет мережа	Доступність інформації про продукт	Новизна	Якість, характеристик и та ціна

5.7 Висновки за розділом

З аналізу даного стартапу видно, що він має усі перспективи стати успішним проектом. Значну роль в даному стартапі відіграє фактор новизни на ринку, що одразу приверне увагу потенційних покупців, і знизить конкуренцію на початкових етапах. Головною небезпекою є не виправдання очікувань споживачів, яку наважаться придбати новий продукт, це може звести нанівець усі зусилля прикладені до створення продукту. Тому проект потребує ретельної підготовки, тестувань. У випадку вдалого виходу на ринок відкриваються великі перспективи для розвитку проекту, такі як співпраця з відомими знімальними групами у кіно.

ВИСНОВКИ

Основним результатом магістерської дисертації є забезпечення технологічності складального виробу шляхом аналізу особливостей його конструкції, зокрема з'єднань деталей.

На основі аналізу сучасного стану проблеми оцінювання конструкції виробів з точки зору технологічних процесів складання виконано порівняльний аналіз методів оцінки та підвищення технологічності складальних виробів.

Обґрунтовано вибір методу та виявлена необхідність його вдосконалення. Формалізовано методику підвищення технологічності з'єднань деталей складальних виробів.

Практична перевірка отриманих результатів виконана на прикладі складального виробу «Гідравлічний насос». Застосування розробленої методики дозволило скоротити кількість деталей у виробі на 40%, зменшити час складання на 28% та досягти очікуваного економічного ефекту у розмірі 110 тис. грн. при розмірі партії 1 000 шт.

Розроблено старт-ап, який має перспективи стати успішним проектом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Цибульська Е. І. Управління потенціалом підприємства [Електронний ресурс] / Е. І. Цибульська // Харків. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://books.google.com.ua/books?id=tX7Or_rpKjEC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false.
2. Поняття технологічності виробу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://buklib.net/books/36258/>.
3. Економіка підприємства [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://bibliograph.com.ua/economika-predpriyatiya-2/33.htm>
4. Цибульська Е. І. Управління потенціалом підприємства / Е. І. Цибульська. – Харків, 2011.
5. ГОСТ 18831-73 Технологичность конструкций. Термины и определения [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/44KD.html>.
6. Технологичность конструкции изделия: Справочник/Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков и др. Под общ. ред. Ю. Д. Амирова. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. — 768 с.
7. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Anthony Knight. Product design for manufacture and assembly. 2nd ed. ISBN 10: 082470584X, CRC Press Taylor & Francis Group, 2001
8. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 275 с.
9. Цибульська Е. І. Управління потенціалом підприємства / Е. І. Цибульська. – Харків, 2011.
10. Теоретична механіка – Кривий Ріг, 2018

11. З'єднання деталей машин. Шпонкові і шліцьові з'єднання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<http://bcoreanda.com/ShowObject.aspx?ID=95>.
12. Різьба та її елементи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/1431>.
13. Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1/Под. ред. П. Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр. – М.: Машиностроение, 1988 – 560 с., ил.
14. Прикладная механика. — Под ред. В.В. Джамая. — М.: Дрофа, 2004. — 414 с.:
15. https://ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/23507/1/Susla_magistr.PDF
16. Павлов В. В. Структурное моделирование производственных систем: Учеб. пособие. – М.: Мосстанкин, 1987. – 80 с.
17. Кореньков В. М. Автоматизований синтез маршрутних технологічних процесів складання: Дис.. канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2005. – 172 с.
18. Давигора В. М., Пасічник В. А., Сімута Р. Р. Спосіб визначення взаємних обмежень рухливості деталей у складальній одиниці // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2000. – №3 / ч.2. – С. 157-161.
19. Давигора В. Н. Методика автоматизованого синтезу раціональних порядків складання // Tehnologia i automatyzacja montazu.– Warszawa: OBR ТЕКОМА, 2001.– №2. Р. 3-10
20. Давыгора В. Н., Пасечник В. А. Теория формализованного синтеза исходного множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки // Вестник НТУУ „КПИ”. – 2000. – № 39. – С. 55-77.
21. Пасічник В. А. Основи комп'ютерно-інтегрованого механоскладального виробництва Дис... докт. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 412 с.

22. Пасечник В. А., Петраков Ю. В., Кореньков В. Н. Ограничение подвижности деталей в сборочной единице – основа математической модели сборочного изделия // *Technika i technologia montazu maszyn*. – 2008. – z.72. – С. 29-36.
23. Сімута Р. Р. Забезпечення якості і прискорення технологічної підготовки механоскладального виробництва: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2003. – 133 с.
24. Кореньков В. М., Пасічник В. А., Сімута Р. Р. Аналіз з'єднань, що забезпечують нерознімність складальних одиниць та виробів, і деякі способи визначення таких з'єднань // *Вісник технологічного університету Поділля*. – 2002. – №4 / ч.1. – С. 48-52.
25. Пасічник В.А. Метод цілеспрямованого перепроєктування складальних виробів та його реалізація у «DFA Expert» / В.А. Пасічник, Ю.В. Лашина // *Вісник НТУУ «КПІ»* – К.: 2010. – №59 / *Машинобудування*. С. 258–263
26. Lucas Engineering Systems Ltd., University Of Hull, Design For Assembly/Manufacture Analysis Practitioners Manual, Version 10.5, CSC Manufacturing, Solihull, UK, 1995.
27. Miyakawa, S. and Ohashi, T. The Hitachi Assembly Evaluation Method // *Proc. International Conference on Product Design for Assembly*, Newport, Rhode Island, April 15-17, 1986.